ISSN 1907-5367
eISSN 2580-1023

buletin
SUMBER DAYA GEOLOGI

Volume 20 No. 1, Mei 2025



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

Buletin Sumber Daya Geologi	Vol. 20	No. 1	Halaman 1 - 73	Bandung Mei 2025	Terakreditasi Kemenristekdikti sebagai Jurnal Ilmiah Nomor : 200/M/KPT/2020

KETERANGAN SAMPUL DEPAN

Mineralisasi Oksida Hematit dan Bacharoidal Goethit (Maftukha Alfiani, dkk., 2024)

ISSN 1907-5367
eISSN 2580-1023

buletin
SUMBER DAYA GEOLOGI

Volume 20 Nomor 1, Mei 2025

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.
Ernawati, S.I.Pust.
Riad Bakti Padilah, S.AP.
Bonny Wanda Nugraha, S.Kom
Atep Kurnia, S.S.

Editorial Board
Ir. Agung Pribadi, M.Sc.
Fitri Purnamasari Liveta, S.A.P.
Ir. Herry Rodiana Eddy, M.Si.
Ir. Prima Muharam Hilman, M.Sc.
Ir. Dwi Nugroho Sunuhadi
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.
Asep Sugianto, S.T., M.T.
Irwan Muksin, S.T.
Husin Setia Nugraha S.T., M.Sc.

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. Sabtanto Joko Suprapto, M.T.
Edi Suhanto, S.Si, M.T.
Dr. Asep Kurnia Permana, S.T., M.Sc
Dr. rer. nat. Ernowo, S.T., M.T.
Dr. Ir. RM Basuki Rahmad, M.T.
Dr. Ir. Dwi Fitri Yudiantoro, M.T.
Dr. Ir. Sutarto, M.T.

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 : buletinpsdg@gmail.com
OJS : https://buletinsdg.geologi.esdm.go.id

PENGANTAR REDAKSI

Buletin Sumber Daya Geologi Volume.20 Nomor.1 Tahun 2025 ini berisi lima makalah ilmiah yang mengulas tentang komoditas mineral, batubara dan panas bumi. Para penulis yang berkontribusi berasal dari Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi, Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung, Universitas Padjadjaran, Institut Teknologi Bandung, Universitas Bengkulu, Sekolah Tinggi Teknologi Mineral Indonesia, PT Bumi Suksesindo dan PT Trimegah Bangun Persada.

Artikel pertama berupa penelitian untuk mengetahui jenis litologi, alterasi, mineralisasi, dan tipe deposit bijih pada daerah prospek di daerah Tumpangpitu, Kecamatan Pesanggaran, Banyuwangi, Jawa Timur. Metode yang dipergunakan berupa pemerian inti bor, pengukuran *analytical spectral devices* (ASD), *corescan,* dan analisis mineragrafi yang menggunakan data 10 inti bor. Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa tipe deposit di daerah tersebut berupa epitermal sulfidasi tinggi pada kedalaman 500-1.000 meter (*intermediet*).

Artikel kedua tentang kajian keberadaan nikel di daerah *Loji Beach* di Pulau Obi, Kabupaten Halmahera Selatan, Provinsi Maluku Utara. Secara geologi, daerah penelitian tersusun oleh batuan ultramafik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik nikel laterit dan hubungannya dengan kondisi geologi di daerah penelitian dengan menggunakan metode petrografi dan geokimia XRF *(X-Ray Fluorescence)* sampel hasil pemboran. Data geokimia berupa kadar Ni dari data bor diinterpolasi dengan metode IDW menggunakan *software ArcGIS*.

Artikel ketiga berupa kajian tentang mineral di daerah Arinem, Garut, Jawa Barat. Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi data lapangan serta sampel inti dari tujuh lubang bor yang disediakan oleh PT ANTAM Tbk yang di bor pada 2011. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk memahami proses geologi dan alterasi hidrotermal di wilayah tersebut dengan menggunakan analisis petrografi, mineralografi, dan ASD specTERRA.

Artikel keempat bertujuan menentukan lokasi yang memiliki potensi panas bumi yang ada di kawasan Wisata Air Putih, Kabupaten Lebong, Provinsi Bengkulu berdasarkan nilai resistivitas dengan menggunakan metode magnetotelurik. Nilai resistivitas yang didapatkan bervariasi dari rendah, sedang, dan tinggi yang dapat digunakan sebagai acuan untuk menggambarkan kondisi di bawah permukaan.

Sedangkan artikel terakhir berupa penelitian memanfaatkan peranagkat lunak Minescape 5,7 menggunakan metode model blok untuk melakukan estimasi cadangan pada lokasi tambang batubara di daerah Sanga Desa, Musi Banyuasin, Sumatera Selatan, sehingga dapat mendelineasi wilayah yang akan ditambang. Berdasarkan perhitungan diperoleh estimasi cadangan batubara 84.447.000 MT dan lapisan tanah penutup 280.320.000 BCM, sehingga diperoleh nisbah pengupasan 3,3 dengan luas pit 300,54 ha.

Salam sehat dan tetap semangat,

Dewan Redaksi

ISSN 1907-5367
eISSN 2580-1023

buletin
SUMBER DAYA GEOLOGI

Volume 20 Nomor 1, Mei 2025

DAFTAR ISI

MAKALAH ILMIAH

1 - 17 **KARAKTERISTIK ALTERASI DAN MINERALISASI BERDASARKAN PENGAMATAN INTI BOR DENGAN METODE ANALYTICAL SPECTRAL DEVICES (ASD) DAN CORESCAN DI AREA PIT A DAN PIT C DAERAH TUMPANGPITU, KABUPATEN BANYUWANGI, JAWA TIMUR**
ALTERATION AND MINERALIZATION CHARACTERISTICS BASED ON CORE LOGGING OBSERVATION WITH ANALYTICAL SPECTRAL DEVICES (ASD) AND CORESCAN METHODS AT PIT A AND PIT C AREA OF TUMPANGPITU, BANYUWANGI DISTRICT, EAST JAVA
Maftukha Alfiani, Dadan Wildan, Benny Bensalman, M. Hafid Rahadi, Trisna Suntara, Lia Novalia Agung

19 - 35 **KARAKTERISTIK FISIK, GEOKIMIA DAN SEBARAN ENDAPAN NIKEL LATERIT DAERAH LOJI BEACH, PULAU OBI, KABUPATEN HALMAHERA SELATAN, PROVINSI MALUKU UTARA**
PHYSICAL, GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS AND DISTRIBUTION OF NICKEL LATERITE DEPOSITS IN THE LOJI BEACH AREA, OBI ISLAND, SOUTH HALMAHERA DISTRICT, NORTH MALUKU PROVINCE
Eliana Trisusanti, Aton Patonah, Adi Hardiyono, Alan Matano

37 - 46 **GEOLOGY AND STRUCTURAL CONTROL ON MINERALISATION OF THE ARINEM AREA, GARUT, WEST JAVA**
GEOLOGI DAN STUDI KONTROL STRUKTUR TERHADAP MINERALISASI DI DAERAH ARINEM, GARUT, JAWA BARAT
Alfend Rudyawan, Muhammad Lugas Sujatmoko, Yan Rizal

47 - 56 **DELINEASI PROSPEK PANAS BUMI DI KAWASAN WISATA AIR PUTIH KABUPATEN LEBONG BENGKULU MENGGUNAKAN METODE MAGNETOTELURIK**
GEOTHERMAL PROSPECT DELINEATION STUDY IN AIR PUTIH TOURISM AREA LEBONG DISTRICT BENGKULU USING MAGNETOTELLURIC METHOD
Della Zakia Soleha, Muchammad Farid, Refrizon, Rina Maesaroh, Meno Hardianza, Basdiki Hasugian, Jessica Agnes Soroinama Gea, Andre Rahmat Al Ansory

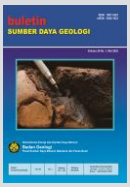
57 - 73 **PEMODELAN CADANGAN BATUBARA BERDASARKAN PENENTUAN BATTERBLOCK DI SANGA DESA, MUSI BANYUASIN, SUMATERA SELATAN**
MODELLING OF COAL RESERVES BASED ON BATTERBLOCK AT SANGA DESA, MUSI BANYUASIN, SOUTH SUMATERA
Darsa Permana, Dwiky Septa Kurniawan, Husni Muhammad Awad, Ravi Yuliansyah Pratama

ABSTRAK MAKALAH
Oleh : Redaksi

GALERI FOTO
Oleh : Eko Suryanto, S.Kom

PEDOMAN PENULISAN KARYA ILMIAH
Oleh : Redaksi

Buletin Sumber Daya Geologi
Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi,
Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral
Website: https://buletinsdg.geologi.esdm.go.id
ISSN 1907-5367, e-ISSN 2580-1023



KARAKTERISTIK ALTERASI DAN MINERALISASI BERDASARKAN PENGAMATAN INTI BOR DENGAN METODE *ANALYTICAL SPECTRAL DEVICES* (ASD) DAN CORESCAN DI AREA PIT A DAN PIT C DAERAH TUMPANGPITU, KABUPATEN BANYUWANGI, JAWA TIMUR

ALTERATION AND MINERALIZATION CHARACTERISTICS BASED ON CORE LOGGING OBSERVATION WITH ANALYTICAL SPECTRAL DEVICES (ASD) AND CORESCAN METHODS AT PIT A AND PIT C AREA OF TUMPANGPITU, BANYUWANGI DISTRICT, EAST JAVA

Maftukha Alfiani[1], Dadan Wildan[1], Benny Bensaman[1], M. Hafid Rahadi[2], Trisna Suntara[2], Lia Novalia[3]
[1]Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung, Indonesia
[2]PT Bumi Suksesindo, Indonesia
[3]Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi, Indonesia

Email korespondensi: maftukhaalf05@gmail.com
Diterima: 12 Juli 2024; Direvisi: 16 Desember 2024; Disetujui: 16 April 2025
DOI: https://doi.org/10.47599/bsdg.v20i1.487

ABSTRAK

Daerah penelitian terletak di dalam wilayah Izin Usaha Pertambangan-Operasi Produksi (IUP-OP) milik PT Bumi Suksesindo di daerah Tumpangpitu, Kecamatan Pesanggaran, Kabupaten Banyuwangi, Jawa Timur. Penelitian ini mencakup dua area yaitu *Pit* A dan *Pit* C. Di daerah Tumpangpitu terdapat tipe deposit bijih emas epitermal sulfidasi tinggi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui jenis litologi, alterasi, mineralisasi, dan tipe deposit bijih pada daerah penelitian. Metode penelitian yang digunakan meliputi pemerian inti pengeboran pengukuran *analytical spectral devices* (ASD), *corescan,* dan analisis mineragrafi. Penelitian dilakukan menggunakan data 10 inti bor yaitu, GTD-719, GTD-727, GTD-728, GTD-735, GTD-778, GTD-781, GTD-782, GTD-785, GTD-786 dan GTD-792. Hasil korelasi lubang bor daerah penelitian menunjukkan bahwa litologi tersusun oleh vulkanik andesit, breksi preatomagmatik *phase* 1, vulkanik dasit, diorit, breksi preatomagmatik *phase* 2, dan kubah intrusi dasit. Berdasarkan himpunan mineral ubahan, pH, dan temperatur terdapat 7 zona alterasi yaitu, silika, silika ± alunit, pirofilit ± diaspor ± alunit, alunit ± pirofilit ± dickit ± kaolinit, alunit ± kaolin, kaolinit ± dickit ± monmorillonit-illit, klorit ± monmorillonit-illit. Mineralisasi yang dijumpai berupa pirit (FeS_2), enargit (Cu_3AsS_4) dan sfalerit ((ZnFe)S). Tipe deposit daerah penelitian adalah deposit epitermal sulfidasi tinggi dengan kedalaman 500-1.000 meter (*intermediet*).

Kata kunci: Alterasi, mineralisasi, epitermal sulfidasi tinggi, *analytical spectral devices, corescan*, Tumpangpitu

ABSTRACT

The research area is located within the Mining Bussines Licence-Operation Production (IUP-OP) of PT Bumi Suksesindo in the Tumpangpitu area, Pesanggaran District, Banyuwangi

Regency, East Java. The research area covers two areas, namely Pit A and Pit C. In Tumpangpitu, there are two types of ore deposits: porphyry copper and high-sulfidation epithermal gold. The aim of this research is to determine the types of lithology, alteration, mineralization, and ore deposit types in the research area. The research methods used include detailed core logging, analytical spectral devices (ASD) measurement, corescan, and mineragraphy analysis. The research was conducted using data from 10 drill holes: GTD-719, GTD-727, GTD-728, GTD-735, GTD-778, GTD-781, GTD-782, GTD-785, GTD-786, and GTD-792. The correlation results of the drill holes in the research area indicate that the lithology consists of andesite volcanic, preatomagmatic phase 1 breccia, dacite volcanic, diorite, preatomagmatic phase 2 breccia, and dacite intrusion dome. Based on the set of alteration minerals, pH, and temperature, there are 7 alteration zones: silica, silica ± alunite, pyrophyllite ± diaspore ± alunite, alunite ± pyrophyllite ± dickite ± kaolinite, alunite ± kaolin, kaolinite ± dickite ± montmorillonite-illite, chlorite ± montmorillonite-illite. The mineralization found includes pyrite (FeS_2), enargite (Cu_3AsS_4), and sphalerite ((ZnFe)S). The type of deposit in the research area is high-sulfidation epithermal deposit with a depth of 500-1,000 meters (intermediate).

***Keywords**: Alteration, mineralization, high sulfidation epithermal, analytical spectral devices, corescan, Tumpangpitu*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Busur Magmatik Sunda bagian timur membentuk tren timur-barat dengan total panjang sekitar 1.800 km yang menempati Pulau Jawa, Pulau Bali, Pulau Lombok dan Pulau Sumbawa. Busur tersebut merupakan bagian dari Busur Sunda-Banda sepanjang 3.940 km yang membentang dari ujung utara Pulau Sumatra melalui Pulau Jawa hingga ke timur Pulau Damar (Hamilton, 1979; Carlile dan Mitchell, 1994; Setijadji et al, 2006 dalam Harrison, 2018). Tataan tektonik tersebut disertai aktivitas magmatik menghasilkan mineralisasi yang membawa deposit ekonomis seperti emas dan tembaga.

Lokasi daerah penelitian Tumpangpitu termasuk ke dalam wilayah IUP - OPK (Izin Usaha Pertambangan Operasi Produksi Khusus) PT Bumi Suksesindo, daerah ini terletak di sebelah barat Pulau Merah yang terkenal memiliki deposit tembaga dan emas merupakan situs Geopark Nasional. Daerah Tumpangpitu memiliki deposit tembaga porfiri dan emas sulfidasi tinggi hingga yang merupakan deposit terbesar di Jawa Timur. Sumber daya tembaga porfiri 1,9 miliar ton dengan kadar rata-rata 0,45% Cu dan 0,45 g/t Au dalam deposit epitermal sulfidasi tinggi teroksidasi (Harrison, 2018).

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui litologi, karakteristik alterasi, mineralisasi, dan tipe deposit pada daerah penelitian. Hasil dari penelitian ini diharapkan menjadi data pendukung untuk eksplorasi lebih lanjut pada sekitar daerah penelitian.

Geologi Regional

Fisiografi

Pulau Jawa bagian tengah dan timur terbagi menjadi 6 zona yaitu: Zona Dataran Aluvial Pantai Utara Jawa, Zona Antiklinorium Rembang, Zona Antiklinorium Kendeng, Zona Randublatung, Zona Solo dan Zona Pegunungan Selatan (Pannekoek, 1949; Van Bemmelen, 1949). Daerah Tumpangpitu termasuk ke dalam Zona Pegunungan Selatan (Gambar 1).

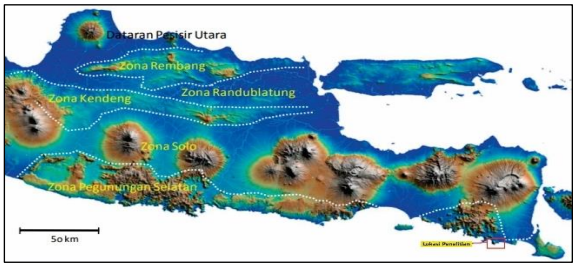
Struktur Geologi

Berdasarkan penelitian Harisson (2018) dalam skala regional daerah Tumpangpitu berada di dalam blok di antara dua sesar utama yang berarah timur laut - tenggara berupa sesar geser mendatar (*sinistral strike slip fault*). Pola struktur geologi yang berkembang pada daerah penelitian berupa tiga sesar utama yang berarah

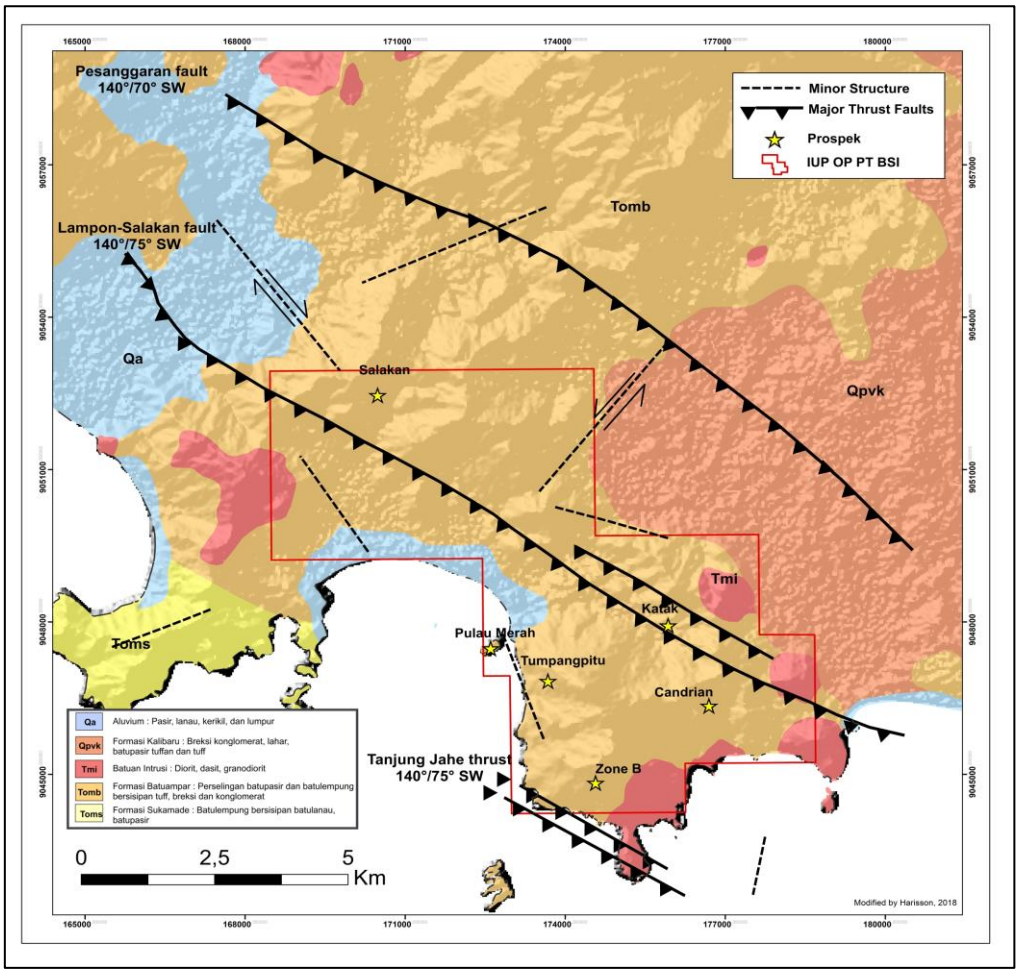
barat (140˚) (Gambar 2) berupa *brittle reverse faults* yang melintasi daerah Tumpangpitu, yakni Sesar Pasanggaran berarah 140°/70°SW, Sesar Lampon-Salakan 140°/75°SW, dan Sesar Tanjung Jahe 140°/70°SW. Pola struktur yang berkembang yaitu berupa sesar "*metallogenetically fertile structure*" sehingga pada pola ini terjadi pengkayaan mineralisasi Au-Ag-Cu pada zona lemah (*feeder zone*).

Stratigrafi

Mengacu pada peta geologi regional lembar Blambangan (Achdan dan Bahri, 1993) daerah Tumpangpitu disusun oleh batuan vulkanik dan vulkaniklastik Formasi Batuampar berumur Oligosen Akhir sampai Miosen Tengah (Dermawan, 2019). Batuan tersebut memiliki afinitas magma kalk-alkali rendah potassium (*low-K-calc-alkaline*) sampai alkali, berupa batuan beku andesitik berselang-seling dengan sikuen batuan vulkaniklastik (Harisson, 2012 dalam Myaing dkk, 2018). Pada Miosen Tengah formasi ini diintrusi oleh batuan beku dasit-diorit-granodiorit yang memiliki potassium rendah (Gambar 2).



Gambar 1. Peta Pembagian Zona Fisiografi Berdasarkan Klasifikasi Pannekoek 1949; Van Bemmelen 1949 (Husein 2016)



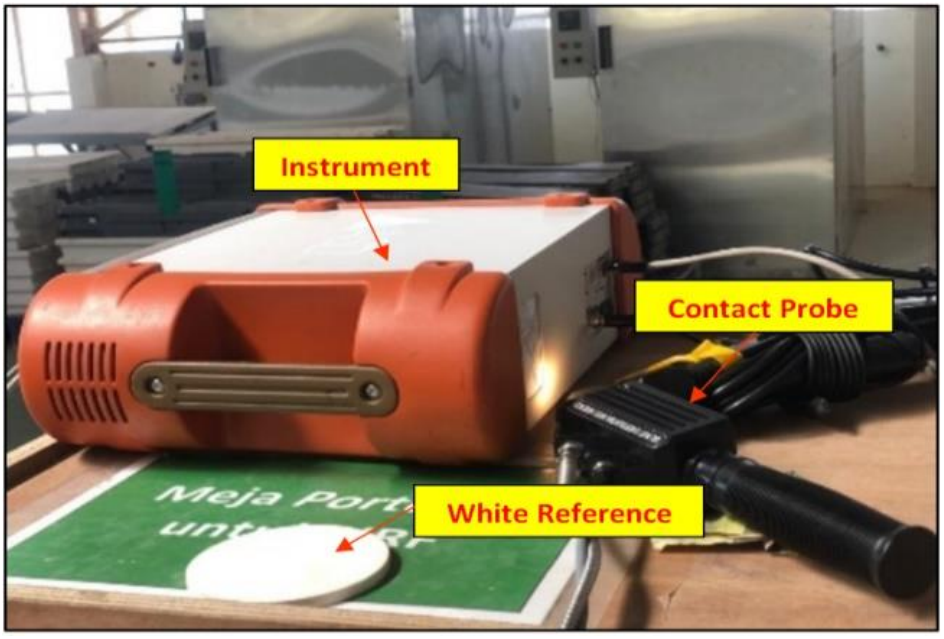
Gambar 2. Peta Geologi Regional dan Pola Struktur Daerah Tumpangpitu (dimodifikasi dari Harrison, 2018)

METODOLOGI

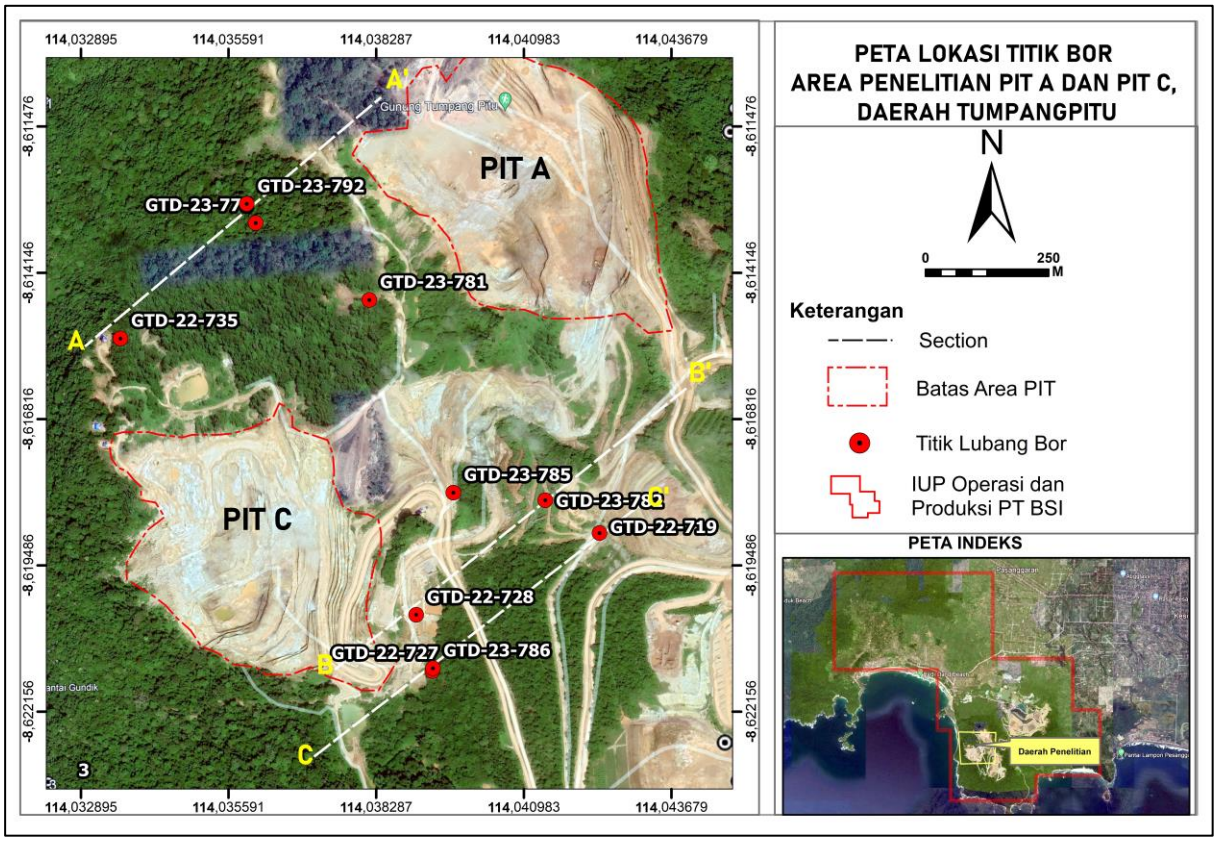
Data yang digunakan untuk penelitian ini berupa data sekunder dan data primer. Data primer didapatkan dari *detail logging core*, pengukuran menggunakan *analytical spectral devices* (ASD) dan *corescan* serta mineragrafi.

Untuk memperoleh data mineral alterasi dilakukan pengukuran ASD dan *corescan*. Pengukuran ASD menggunakan alat spektrometer beresolusi tinggi yang mengukur VNIR (*Visible Near Infra Read*) s.d. SWIR (*Short Wave Infra-Red*) pada rentang panjang gelombang 350-2.500 nanometer. Proses perekaman data ASD relatif mudah dilakukan dengan detektor dinamis. Komponen alat ASD terdiri dari instrument, *contact probe* yang digunakan untuk mengambil pembacaan secara langsung pada permukaan sampel, dan *white reference* berfungsi sebagai kalibrasi *contact probe* setiap sebelum pengukuran dan 20 menit sekali (Gambar 3). ASD merupakan salah satu teknik analisis portabel dalam eksplorasi yang dapat digunakan secara cepat dan akurat di lapangan. Kekurangan dari analisis ini yaitu tidak bisa mendeteksi *anhydrous minerals* atau mineral yang tidak memiliki OH. Setiap mineral memiliki ciri spektrum reflektansi, absorpsi dan transmisi yang berbeda, sehingga himpunan mineral yang teranalisis digunakan untuk menentukan zona alterasi (Thompson, 1996). Mineral assemblages alterasi yang teridentifikasi oleh SWIR berupa *clay minerals* (*illite-smectite, kaolinit, dickite*), karbonat (*kalsit, dolomite, siderite*), chlorite (Fe, Mg, Al), *sulfates (alunite, jarosite, gypsum),* dan *selected silicates (talc, phyrophilite, epidote, topaz*) (Tabel 1). Sampel inti bor yang digunakan pada penelitian ini dari 10 inti bor pada 2 area di Tumpangpitu.

Luas area penelitian adalah 5,12 km^2. Area 1 merupakan wilayah cakupan *Pit* A dengan 4 lubang bor dan area 2 merupakan *Pit* C dengan data 6 lubang bor. Kedua *pit* ini memiliki jarak ±500 meter (Gambar 4). Empat dari 10 lubang bor tersebut merupakan *hole historical* yang dilakukan deskripsi dengan foto dan hasil analisis *corescan* untuk mendukung data alterasi. Hasil deskripsi litologi dan alterasinya kemudian diolah untuk mendapatkan hubungan antar lubang bor secara vertikal untuk mengetahui kondisi geologi pada dua area penelitian. Dari pengamatan lapangan didapatkan 5 sampel untuk analisis laboratorium berupa mineragrafi.



Gambar 2. Instrument *Analytical Spectral Devices* (ASD)



Gambar 4. Peta lokasi dan section titik bor penelitian di Area *Pit* A dan *Pit* C

Tabel 1. Himpunan mineral alterasi identifikasi SWIR yang dikelompokkan berdasarkan terminologi tipe deposit (Thompson, 1996)

Enviroment of formation	Standard terminology	SWIR active mineral assemblage (key minerals are in bold)
Intrusion-related	Potassic (biotite-rich), K silicate, biotitic	**Biotite (phlogopite)**, **actinolite, sericite, chlorite, epidote,** muscovite, anhydrite
	Sodic, sodic-calcic	**Actinolite,** clinopyroxene (diopside), chlorite, epidote, scapolite
	Phyllic, sericitic	**Sericite** (muscovite-illite), chlorite, anhydrite
	Intermediate argillic, sericite-chlorite-clay (SCC), argillic	Sericite (illite-smectite), chlorite, kaolinite (dickite), montmorillonite, calcite, epidote
	Advanced argillic	**Pyrophyllite, sericite, diaspore, alunite, topaz, tourmaline,** dumortierite, zunyite
	Greisen	**Topaz, muscovite**, tourmaline
	Skarn	**Clinopyroxene, wollastonite,** actinolite-tremolite, vesuvianite, serpentine-talc, calcite, chlorite, illite-smectite, nontronite,
	Propylitic	**Chlorite, epidote**, **calcite,** actinolite, sericite, clay
High-sulfidation epithermal	Advanced argillic—acid sulphate	**Kaolinite, dickite, alunite**, diaspore, pyrophyllite, zunyite
	Argillic, intermediate argillic	**Kaolinite, dickite, montmorillonite, illite-smectite**

Enviroment of formation	Standard terminology	SWIR active mineral assemblage (key minerals are in bold)
	Propylitic	**Calcite, chlorite, epidote,** sericite, clay
Low-sulfidation epithermal	“Adularia”—sericite, sericitic, argillic	**Sericite, illite-smectite**, kaolinite, chalcedony, opal, montmorillonite, calcite, dolomite
	Advanced argillic—acid-sulphate (steam-heated)	**Kaolinite, alunite, cristobalite** (opal, chalcedony), jarosite
	Propylitic, zeolitic	**Calcite, epidote, wairakite,** chlorite, illite-smectite, montmorillonite
Mesothermal	Carbonate	**Calcite, ankerite**, dolomite, muscovite (Cr-V-rich), chlorite
	Chloritic	**Chlorite,** muscovite, actinolite
	Biotitic	**Biotite,** chlorite
Sediment-hosted gold	Argillic	Kaolinite, **dickite,** illite
Volcanogenic massive sulfide	Sericitic	**Sericite,** chlorite, chloritoid
		Chlorite, sericite, biotite
Sediment-hosted massive sulfide	Carbonate	**Dolomite, siderite,** ankerite, calcite, sericite, chlorite
	Tourmalinite	**Tourmaline**, muscovite
	Carbonate	**Ankerite, siderite, calcite,** muscovite
	Sericitic	**Chlorite, chlorite**
	Albite	**Chlorite, muscovite,** biotite

Minerals are grouped by assemblages of alteration minerals, and keyed to commonly used terminology; Complete assemblages are in Thompson and Thompson (1996)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Geologi Daerah Penelitian

Acuan penamaan stratigrafi daerah penelitian mengacu terhadap konseptual model geologi Tujuh Bukit (PT Bumi Suksesindo). *Detail logging core* dilakukan pada 10 lubang bor dengan mengamati ciri-ciri fisik litologi secara megaskopis. Berikut merupakan satuan batuan yang diurutkan dari umur tua ke muda.

Satuan Vulkanik Andesit

Vulkanik andesit berupa lava yang terdapat pada Formasi Batuampar. Hasil deskripsi sampel inti bor menunjukkan bahwa vulkanik andesit terdapat pada kedalaman 210 meter (GTD-735) dan 310 meter (GTD-778) dari lubang bor yang berada di area *Pit* A atau sebelah utara blok lokasi penelitian (Gambar 5). Karakteristik satuan vulkanik andesit adalah berwarna abu-abu tekstur afanitik.



Gambar 5. Vulkanik andesit, abu-abu gelap, afanitik, teralterasi kuat oleh silika, diaspor, dan pirofilit, mineralisasi berupa urat pirit (GTD-778 ; 421,8 – 426,08 meter)

Satuan Breksi Preatomagmatik phase 1

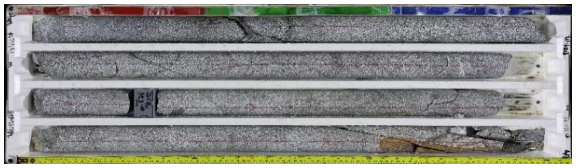
Breksi preatomagmatik *phase* 1 merupakan litologi breksi yang terbentuk hasil aktivitas intrusi pertama (pra-porfiri) didaerah Tumpangpitu. Breksi ini memiliki warna abu-abu pucat (Gambar 6). Proses letusan magma yang membentuk breksi ini membawa fragmen-fragmen batuan yang terbentuk lebih dahulu seperti vulkanik andesit. Bentuk fragmen *sub rounded – sub angular*. Batuan teralterasi menghasilkan mineral lempung dan silika. Breksi preatomagmatik *phase 1* dijumpai hanya pada lubang bor di area PIT C (GTD-727) pada kedalaman kisaran 260 – 400 meter (Gambar 13).



Gambar 6. Breksi Preatomagmatik 1 (BXg 1), abu-abu, polimik, sub angular, teralterasi kuat alunit dan silika, fragmen: andesit teralterasi dan silika. (GTD-727; 299,82 – 303,2 meter)

Satuan Vulkanik Dasit

Vulkanik dasit adalah salah satu batuan intrusi vulkanik yang mengintrusi Formasi Batuampar pada Miosen Akhir – Pliosen Awal. Vulkanik dasit ditemukan pada lubang bor daerah *Pit* A (GTD-792) dan *Pit* C (GTD-719, GTD-727, GTD-728, GTD-782 dan GTD-785) (Gambar 11, 12 & 13). Secara megaskopis vulkanik dasit memiliki warna segar abu-abu, komposisi mineral terdiri dari plagioklas (20%), kuarsa (10%) dan biotit (3%) telah terlaterasi menghasilkan mineral lempung dan silika. Terdapat kuarsa dalam bentuk *quartz eye* (15-20%) (Gambar 7).



Gambar 7. Vulkanik Dasit (VDa), abu-abu muda, teralterasi sedang oleh silika, kaolinit dan dickit, (GTD-782 ; 25,62 – 262,75 meter)

Satuan Diorit

Diorit terbentuk akibat *parental magma* yang naik dan terjadi peristiwa kristalisasi magma menghasilkan residu magma yang kaya uap, pada tahap selanjutnya residu magma ini akan menjadi deposit porfiri Tujuh Bukit pada Miosen Tengah (Harrison, 2018). Diorit dalam kondisi segar berwarna putih keabuan. Mineral penyusunnya memiliki tekstur fanero porfiritik, ukuran butirnya sedang – hingga kasar keseragaman *inequigranular*. Komposisi mineral berupa plagioklas, kuarsa, dan amfibol. Diorit hanya ditemukan pada lubang bor area *Pit* C (GTD-727 dan GTD-728) pada kedalaman sekitar 300 – 400 meter (Gambar 12 & 13).



Gambar 8. Diorit (IPDi), teralterasi kuat berupa silika, dan alunit, pirit *open space filling*. (GTD-727 ; 403,7 – 407,78 meter)

Satuan Breksi Preatomagmatik phase 2

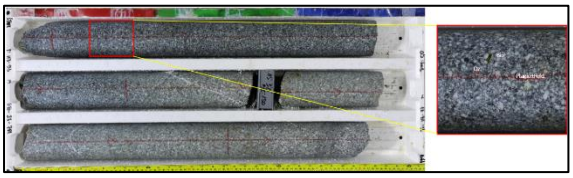
Breksi preatomagmatik *phase* 2 merupakan breksi yang terbentuk akibat aktivitas magma pasca porfiri yang menghasilkan letusan (Harrison, 2018). Litologi ini mendominasi kedalaman dangkal pada semua lubang bor di area *Pit* C (GTD-719, GTD-727, GTD-728, GTD-782, GTD-785, GTD-786) (Gambar 12 dan Gambar 13). Breksi preatomagmatik *phase 2* warna segar abu-abu gelap, fragmen polimik berupa dasit, silika, dan pirit. Batuan ini telah terlaterasi menghasilkan mineral lempung dan silika.



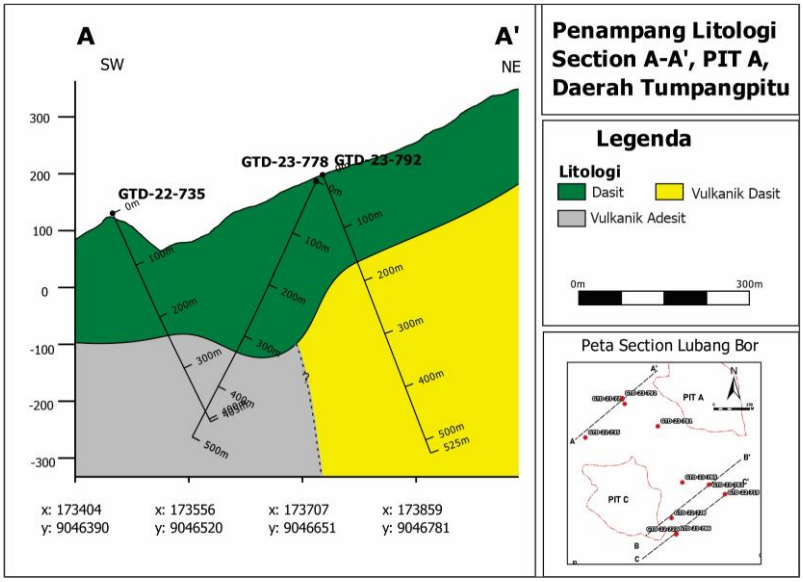
Gambar 9. Breksi Preatomagmatik 2 (BXg 2), coklat kemerahan, *clast supported, very coarse grain,* teralterasi kuat oleh dickit, teroksidasi oleh goethit (GTD-727 ; 72.04 – 74.2)

Satuan Kubah Intrusi Dasit

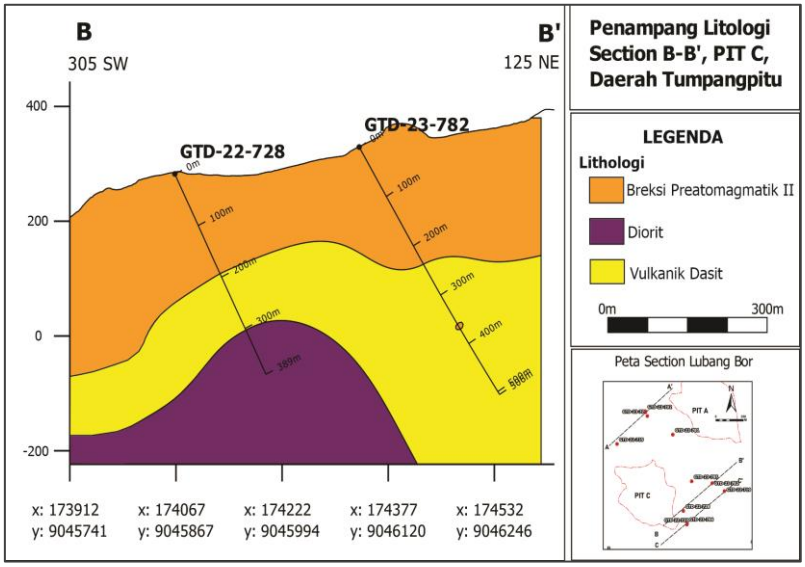
Litologi ini tidak tersingkap pada lubang bor area *Pit* C hanya terdapat di area *Pit* A pada lubang bor GTD-735, GTD-778, GTD-781, dan GTD-792 (Gambar 11). Batuan kubah intrusi dasit secara umum dalam kondisi segar berwarna abu-abu, tekstur batuan porfiro afanitik (ukuran fenokris >1 – 5 mm), terdapat *quartz eyes* sekitar 3%. Mineral penyusun batuan yang teramati berupa kuarsa (20%), plagioklas (45%), dan biotit (5%) dan masa dasar (25%) (Gambar 10). Sebagian dasit teralterasi menghasilkan mineral lempung dan silika. Dasit ini terbentuk pada umur 2,9 – 0,5 juta tahun yang lalu (Harrison, 2018).



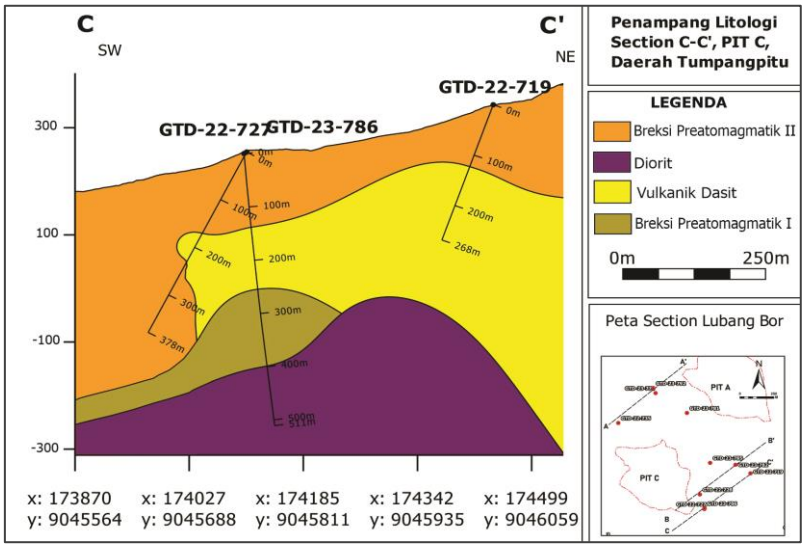
Gambar 10. Dasit (IDMDa), abu-abu gelap, teralterasi sedang menghasilkan klorit, monmorillonit-illit, dan *veinlet* kalsit (GTD-781; 113,96 – 116,33 meter)



Gambar 11. Penampang litologi A-A', area *Pit* A



Gambar 12. Penampang litologi B-B', area *Pit* C



Gambar 13. Penampang litologi C-C', area *Pit* C

Alterasi

Hasil dari deskripsi sampel inti bor, analisis ASD dan *corescan*, maka didapatkan himpunan mineral-mineral alterasi yang dikelompokkan berdasarkan pH dan temperatur yang mempengaruhi pembentukannya. Ada 7 zona alterasi berdasarkan himpunan mineralnya :

1. Zona Silika

Zona alterasi silisifikasi dicirikan dengan presentase mineral silika yang sangat melimpah. Zona ini hanya terdapat pada satu lubang bor di area *Pit* C yaitu GTD-719 (Gambar 23). Silika ketika dianalisis menggunakan *corescan* termasuk ke dalam kategori *unclassified* (Gambar 14). Himpunan mineral ini terbentuk pada suhu <100 - 300°C (White & Hedenquist, 1995) dengan pH relatif asam (pH < 2) (Corbett & Leach, 1997).

2. Zona Silika ± Alunit

Zona alterasi silika±alunit dicirikan dengan presentase mineral silika dan alunit yang cukup tinggi pada lubang bor GTD-727 (Gambar 15). Zona ini termasuk ke dalam kelompok argilik lanjut yang terbentuk pada suhu 0 - 300°C dan pH asam (pH < 2) (Corbett & Leach, 1997). Zona ini tidak menerus ke arah horizontal pada lubang bor di sampingnya (Gambar 23). Mineral pirofilit yang pembentukan suhunya relatif tinggi juga hadir berasosiasi dengan alunit.

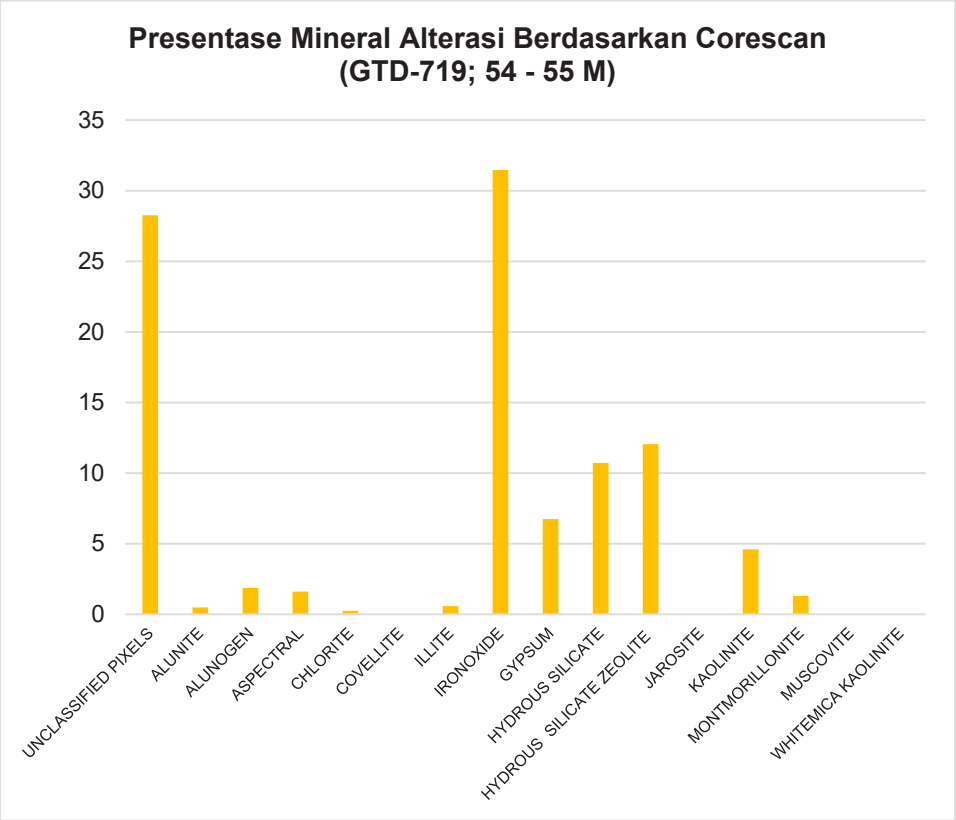
3. Zona Pirofilit ± Diaspor ± Alunit

Zona alterasi pirofilit ± diaspor ± alunit tersebar pada 6 lubang bor area *Pit* A dan *Pit* C yaitu GTD-727, GTD-728, GTD-735, GTD-778, GTD-782, dan GTD-786 (Gambar 21, 22 & 23). Spektrum pirofilit memiliki bentuk *sharp* dengan *wavelength* 1.392 – 1.396 nm dan 2.166 nm – 2.168 nm (Gambar 16). Diaspor memiliki bentuk spektrum *board* dan *wavelength* 2176 – 2.220 nm. Alunit memiliki bentuk spektrum *doublets* dengan 1.478 – 1.495 nm. Himpunan mineral pada zona ini relatif terbentuk pada temperatur tinggi (200-290 °C) (White & Hedenquist, 1995) dan pH asam (pH 2-3) (Corbett & Leach, 1997).

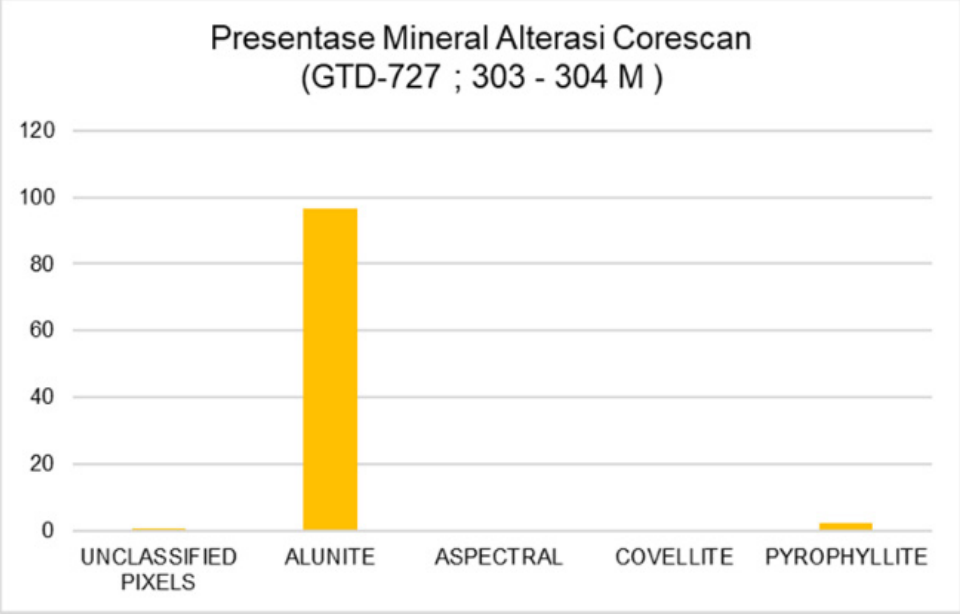
4. Zona Alunit ± Pirofilit ± Dickit ± Kaolinit

Zona alterasi alunit ± pirofilit ± dickit ± kaolinit, tersebar hampir pada semua lubang bor yaitu GTD-719, GTD-727, GTD-728, GTD-735, GTD-778, GTD-781, GTD-782, GTD-785, GTD-786, dan GTD-792 di bagian utara penelitian (*Pit* A) dan bagian selatan (*Pit* C) (Gambar 21, 22 & 23). Salah satu hasil *analytical spectral devices* (ASD) (Gambar 17) pada GTD-786 kedalaman 32,26 meter, menunjukkan bahwa spektrum alunit memiliki *wavelength* 1.478 -1.495 nm dan 2.168 – 2.173 nm. Dickit memiliki bentuk spektrum *doublets* dan *wavelength* 1.359 dan 1.386 nm, 2.180 nm dan 2.206 nm. Kaolin

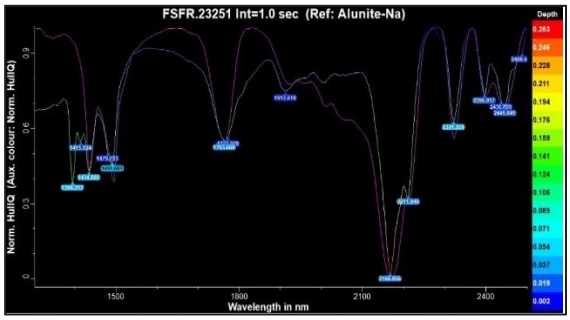
memiliki bentuk *doublets* (Hauff, 1999). Mineral lempung yang hadir pada zona ini nakrit. Topaz hadir berasosiasi dengan alunit. Himpunan mineral pada zona ini terbentuk pada temperatur kisaran 180 - 230 °C (White & Hedenquist, 1995) dan pH 2 -3 (Corbett &Leach, 1997).



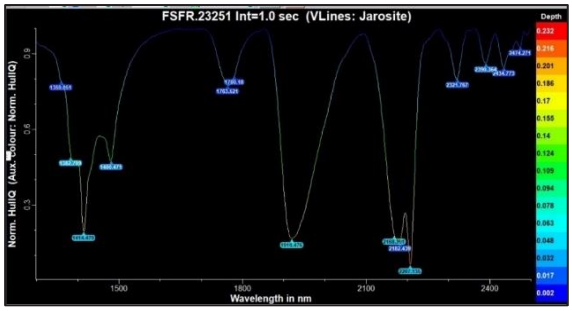
Gambar 14. Grafik presentase mineral silika yang ditunjukkan *unclassified pixels* dari *corescan* pada lubang bor GTD - 719



Gambar 15. Grafik presentase mineral alunit dan pirofilit dari *corescan* pada lubang bor GTD- 727



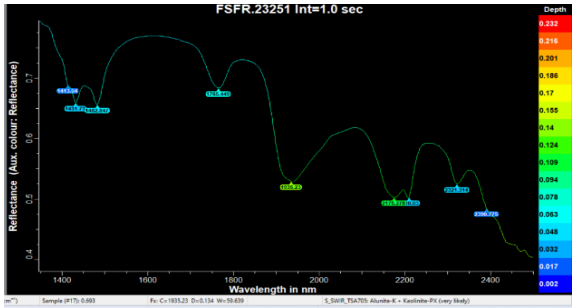
Gambar 16. Hasil ASD pada GTD-782 (kedalaman: 462,64 meter)



Gambar 17. Hasil ASD GTD-786; kedalaman 32,26 meter

5. Zona Alunit ± Kaolinit

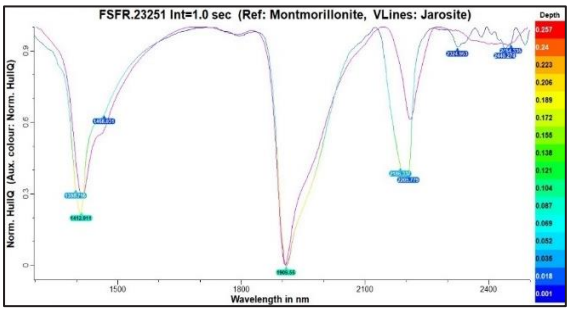
Zona alterasi alunit ± kaolinit tersebar pada 4 lubang bor pada kedalaman dangkal yaitu GTD-727, GTD-728, GTD-782 dan GTD-786 (area *Pit* C) (Gambar 22 dan Gambar 23). Hasil ASD (Gambar 18) pada GTD-786 kedalaman 16,73 m, menunjukkan bahwa spektrum alunit dan kaolin memiliki bentuk *doublets.* Mineral alunit dan kaolin pada zona ini berasosiasi dengan nakrit dan dickit. Himpunan mineral pada zona ini terbentuk pada temperatur rendah (10 - 220 °C) (White & Hedenquist, 1995) dan pH asam (pH 2-3) (Corbett & Leach, 1997).



Gambar 18. Hasil ASD pada GTD-786; kedalaman 16,73 meter

6. Zona Kaolinit ± Dickit ± Monmorillonit-Illit

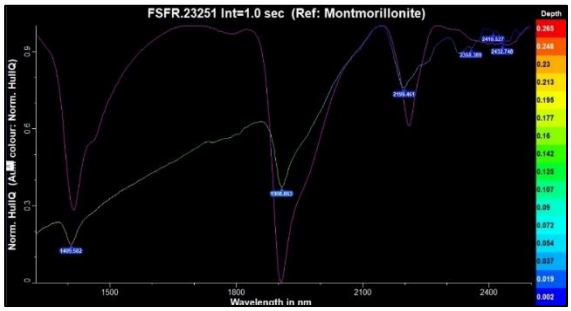
Zona alterasi kaolinit ± dickit ± monmorillonit-Illit tersebar pada 6 lubang bor area *Pit* A dan *Pit* C yaitu GTD-727, GTD-728, GTD-735, GTD-778, GTD-782, GTD-786, dan GTD-792 (Gambar 21, Gambar 22 & Gambar 23). Hasil ASD (Gambar 19) pada GTD-782 kedalaman 11,35 meter, menunjukkan bahwa spektrum kaolinit memiliki bentuk *doublets* dengan *wavelength* 1.396 nm dan 1.418 nm dan 2.186 nm dan 2.205 nm. Monmorillonit memiliki bentuk *board* dan nilai *wavelength* 1900 nm (Hauff, 1999). Himpunan mineral pada zona ini terbentuk pada temperatur 160ºC – 220 ºC dengan pH asam (4) – netral (6) (White & Hedenquist, 1995; Corbett & Leach, 1997).



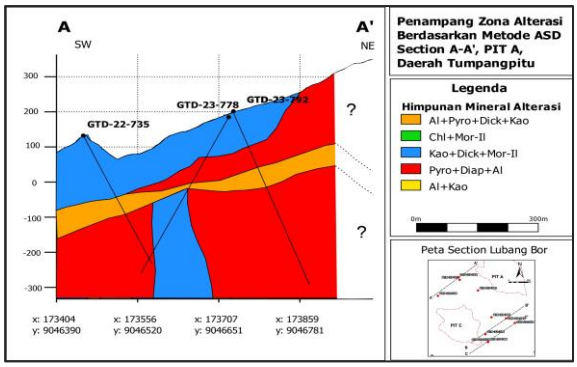
Gambar 19. Hasil ASD pada GTD-782; kedalaman 11,05 meter

7. Zona Klorit ± Monmorillonit-Illit

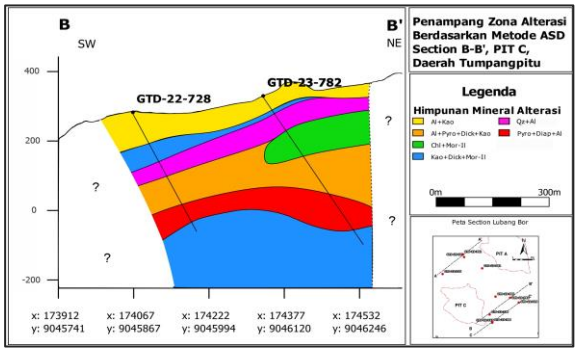
Zona alterasi klorit ± monmorillonit-illit tersebar pada 2 lubang bor GTD-781 dan GTD-782 (Gambar 22). Hasil ASD (Gambar 20) pada GTD-782 kedalaman 195,90 m, menunjukkan bahwa spektrum klorit memiliki bentuk *sharp* dengan *wavelength* 1.409 nm. Monmorillonit memiliki bentuk *board* dan nilai wavelength 1.900 nm (Hauff, 1999). Berdasarkan temperatur mineral alterasi (White dan Hedenquist, 1995), himpunan mineral mineral alterasi klorit ± monmorillonit-illit terbentuk pada kisaran temperatur 200°C – 260°C. Berdasarkan asosiasi himpunan mineral alterasi menurut (Corbett dan Leach, 1997), zona ini dapat disebandingkan tipe alterasi sub-propilitik dengan pH fluida relatif netral (pH 5,5- pH 7).



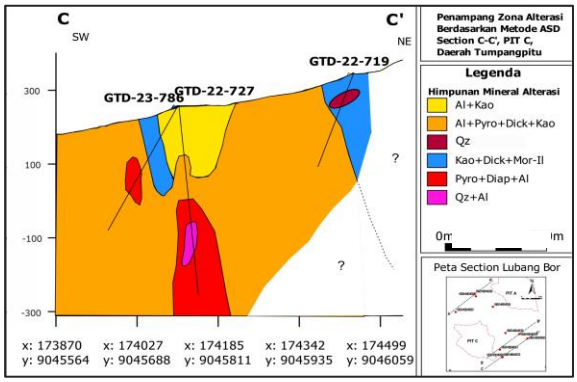
Gambar 20. Hasil ASD pada GTD-792; kedalaman 11,05 meter



Gambar 21. Penampang zona alterasi A-A', area Pit C



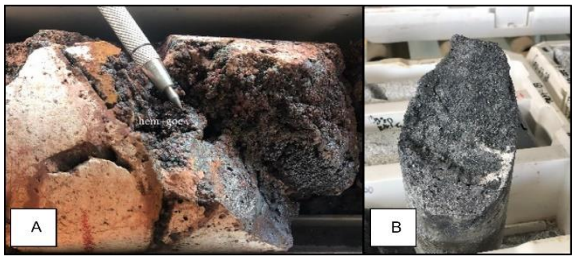
Gambar 22. Penampang zona alterasi B-B', area *Pit* C



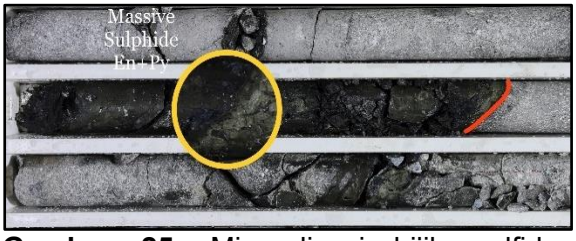
Gambar 23. Penampang zona alterasi C-C', area Pit C

Mineralisasi

Kehadiran mineral sulfida pada sampel inti bor secara megaskopis banyak dengan presentase 1 – 10%. Mineral-mineral ini hadir berupa urat, *stockwork*, *massive,* dan *disemminated* yang terdapat pada litologi vulkanik andesit, dasit, diorit dan breksi preatomagmatik (Gambar 24 & Gambar 25). Mineral sulfida yang hadir (*Pit* A dan *Pit* C) berupa pirit (FeS_2), enargit (Cu_3AsS_4), sfalerit ((ZnFe)S), serta mineral oksida magnetit, hematit, goetit.

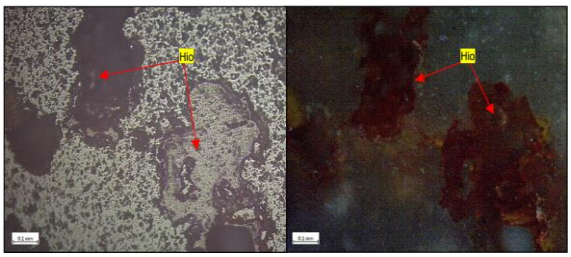


Gambar 24. (A) Mineralisasi oksida hematit dan *bacharoidal* goethit; (B) Tekstur mineralisasi *disseminated*



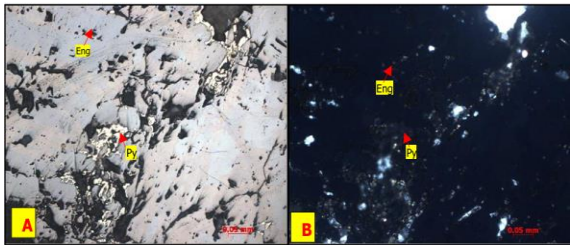
Gambar 25. Mineralisasi bijih sulfida berupa *open space filling* dan *masssive sulfide* (GTD-785 ; kedalaman 265 meter)

Sampel TBO-01 diambil pada lubang bor GTD-792 pada kedalaman 142,20 – 142,30 meter, hasil pengamatan berupa besi hidroksida berwarna merah bata (Gambar 26). Mineral besi hidroksida merupakan hasil pelapukan dan pencucian pada tubuh sulfida. Warna mineral besi hidroksida sangat begantung pada komposisi mineralogi fase besi hidroksida dan oksida, seperti kemerahan (hematit), goetit (coklat) dan kuning (jarosit).



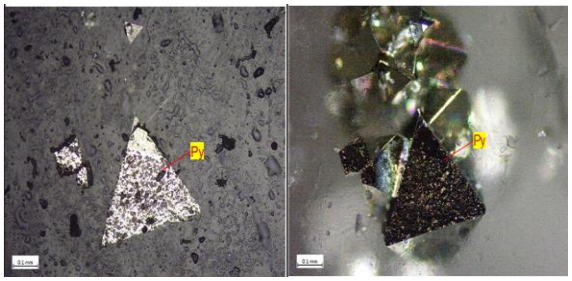
Gambar 26. Fotomikrograf perbesaran 10 x Sampel TBO-01, Mineral besi hidroksida berwarna merah bata, Nikol Sejajar/PPL (kiri) dan Nikol Silang/ XPL (kanan)

Hasil pengamatan makroskopis sampel TBO-02 diambil pada lubang bor GTD-786 kedalaman 281,95 – 282,05 meter didapatkan berupa pirit (FeS_2) sebagai inklusi dalam enargit (Cu_3AsS_4) (Gambar. 27). Enargit berwarna abu-abu – kemerahan, warna bireflektan (abu-abu – merah muda), isotrop kuat (biru tua ke coklat), bentuk butir subhedral dengan tekstur *massive.* Pirit berwarna kuning pucat, anisotrop, bentuk butir anhedral dengan ukuran butir 0,1 – 0,16 mm.

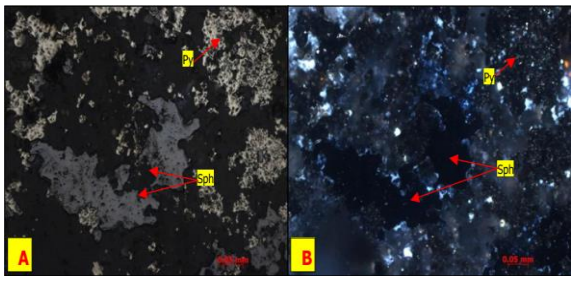


Gambar 27. Fotomikrograf perbesaran 20 x sampel TBO-02, Massive enargite yang terinklusi oleh pirit, Nikol Sejajar/PPL (kiri), Nikol Silang/PPL (kanan)

Pada sampel TBO-03 dari lubang bor GTD-778 pada kedalaman 299,60 – 295,70 meter dan TBO-04 diambil dari lubang bor GTD-786 (Pit C) pada kedalaman 120,35 – 13,45 meter hasil analisis berupa mineral sfalerit ((ZnFe)S) memiliki warna abu-abu gelap, tidak memiliki warna bireflektan, isotrop (abu-abu gelap ke abu-abu terang). Bentuk butir euhedral dengan ukuran 0,05 – 0,3 mm (Gambar 28 dan Gambar 29). Mineral pirit hadir tersebar berbentuk *subhedral* di sekitar sfalerit.

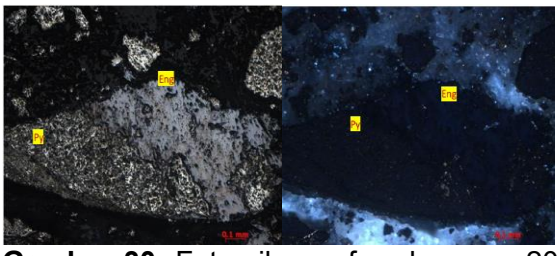


Gambar 28. Fotomikrograf perbesaran 20 x sampel TBO-04, Sfalerit dan pirit *disemminated*, Nikol Sejajar/PPL (kiri) Nikol Silang (kanan)



Gambar 29. Fotomikrograf perbesaran 20 x sampel TBO-04, Sfalerit dan pirit *disemminated*, Nikol Sejajar/PPL (kiri) Nikol Silang (kanan)

TBO-05 merupakan sampel yang diambil dari lubang bor GTD-781 (Pit A) pada kedalaman 288,95 – 289,05 meter terdapat Mineral pirit (FeS_2), kuning pucat, tidak memiliki warna bireflektan, eudral, anisotrop. Mineral pirit dikelilingi oleh mineral sekunder hasil alterasi.

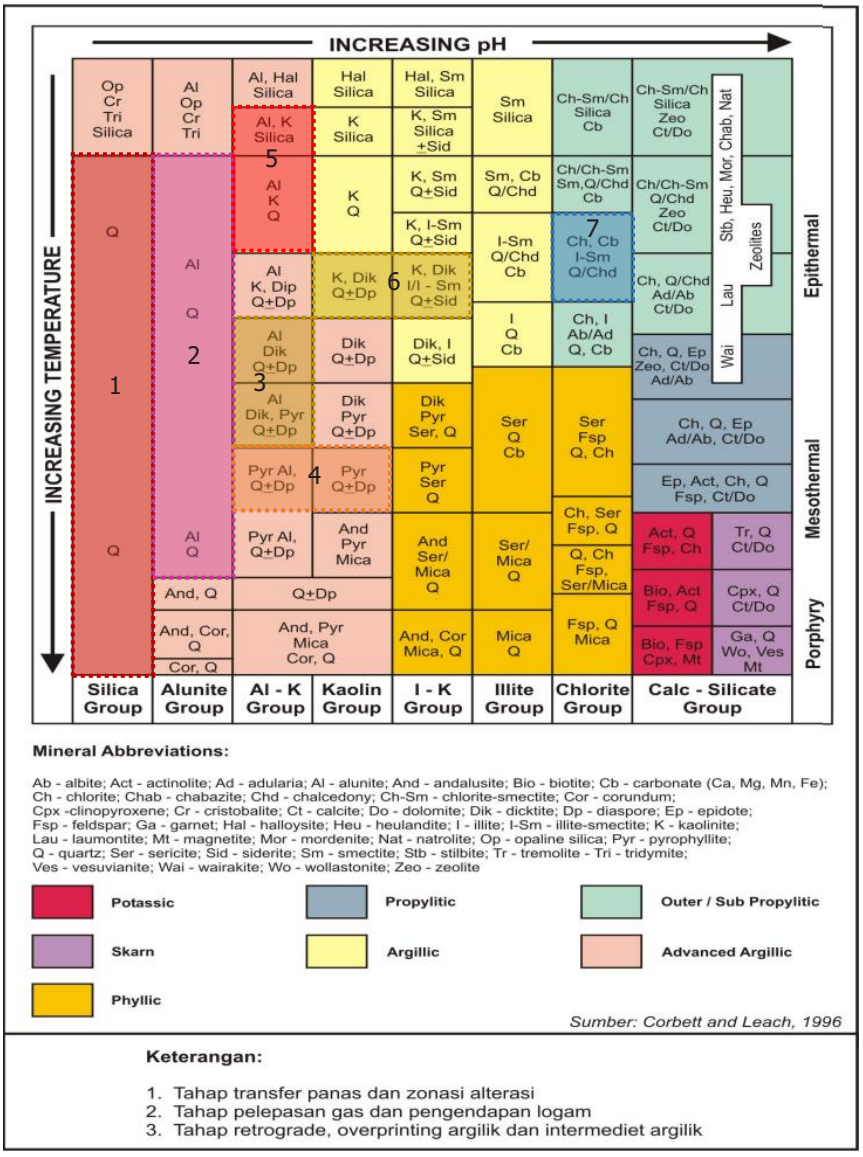


Gambar 30. Fotomikrograf perbesaran 20 x sampel TBO-04, Sfalerit dan pirit disemminated, Nikol Sejajar/PPL (kiri) Nikol Silang (kanan)

Proses hidrotermal merupakan suatu proses perubahan batuan akibat naiknya H_2O panas ke permukaan (Lindgreen, 1993). Schwartz (1954) dalam Noor (2016) menyatakan bahwa akan terjadi penambahan dan penyebaran zona

alterasi, semakin jauh dari pusat hidrotermal tingkat alterasi semakin lemah. Corbett dan Leach (1997) membagi 5 zona berdasarkan kumpulan mineral alterasi berdasarkan pH dan suhu yaitu: Argilik Lanjut, Argilik, Filik, Propilitik dan Potasik (Gambar 31). Himpunan mineral alterasi hasil analisis ASD dan *corescan* telah dikelompokkan untuk mengetahui zona alterasi dan tipe deposit. Himpunan mineral yang dominan teranalisis oleh ASD pada daerah penelitian berupa silika, alunit, pirofilit serta kaolinit relatif terbentuk pada suhu kisaran 100 - 250°C (White & Hedenquist, 1995) dan pH asam (2-3), yang termasuk ke dalam zona alterasi argilik lanjut. Beberapa sumur lubang bor hadir himpunan mineral kaolinit, monmorillonit-illite dan smektit yang terbentuk pada temperatur relatif rendah dan pH asam mendekati netral mengindikasikan zona intermediet argilik (Corbett and Leach, 1997)

Mineragrafi pada kelima sampel didominasi oleh mineral - mineral sulfida seperti pirit, sfalerit dan enargit. Himpunan mineral ini digunakan untuk menentukan jenis deposit dan kedalaman keterbentukannya (Tabel 1).



Gambar 31. Himpunan mineral ubahan berdasarkan temperatur dan pH larutan (Corbett & Leach, 1997)

Tabel 2. Karakteristik Endapan Epitermal Sulfidasi Tinggi dan Rendah (Hedenquist dan Arribas, 1995). Dalam kotak merah merupakan tipe endapan pada daerah penelitian

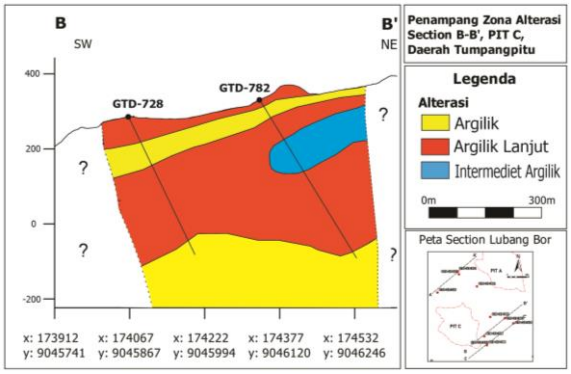
	Low-sulfidation deposits		High-sulfidation deposits		
Genetically related volcanic rocks	Andesite-rhyodacite (AR), bimodal rhyolite-basalt (RB), alkalic (A)		Andesite-ryodacite, dominated by calc-alkalic magmas		
	Shallow	Deep	Shallow	Intermediet	Deep (porphyry)
Depth of formation	0-300 m	300-800 m (rarely >1,000 m)	<500	500-1,000 m	>1,000 m
Setting, typical host rock	Domes; pyroclastic and sedimentary rocks	Domes, diatremes (AR,A); pyroclastic and sedimentary rocks	Domes, central vent; pyroclastic and sedimentary rocks	Domes, diatremes; volcanic rocks	Dome-diatreme; porphyry, volcanic, clastic sedimentary rocks
Deposit form	Vein, vein swarm, stockwork, disseminated	Vein, breccia body, disseminated	Disseminated, breccia and veinlet	Massive sulfide veins, breccia, ledges	Dissemination, veinlets, breccia
Ore textures	Fine bands, combs, crustiform, breccia	Coarse bands	Vuggy quartz hosts replacement	Massive sulfide, late veins/breccias	Replacement
Alteration	Alunite-kaolinite blanket, clay halo	Clays, sericite, carbonates; roscoellite, fluorite (A)	Silicic (vuggy), quartz-alunite	Silicic (vuggy), quartz-alunite, pyrophyllitedickite-sericite	Pyrophyllitesericite, quartzsericite
Gangue	Chalcedonyadularia-illitecalcite	Quartz-carbonaterhodonite-sericiteadularia ± barite ± anhydrite ± hematite ± chlorite (AR)	Alunite, barite, kaolinite	Anhydrite, kaolinite, dickite	Sericite, pyrophyllite
Sulfides	Cinnabar, stibnite; pyrite/marcasite arsenopyrite, Au-Ag selenides, Se sulfosalts, pyrrhotite, Fe-rich sphalerite (RB) Au-Ag-As-Sb-SeHg-Tl (RB)	Pyrite-Au-Ag sulfides/sulfosalts, variable sphalerite, galena, chalcopyrite, tetrahedrite/ tennantite (AR)	Enargite/luzonite, covellite, pyrite	Enargite/luzonite, chalcopyrite, tetrahedrite/ tennantite, sphalerite, late covellite, pyrite	Bornite, digenite, chalcocite, covellite
Metals	Au-Ag-As-Sb-SeHg-Tl (RB), low Ag:Au; <0.1-1 % base metals	Ag-Au-Pb-Zn, Ba, Mn, Se (AR), high Ag:Au; 2-10 (20+)% base metals	Au-Ag, Cu leached (Hg overprint)	Cu-Au-Ag-Bi-TeSn	Cu-Au
Notable features	Sinter, chalcedony blanket	Some intermediate sulfidation-state veins adjacent to high-sulfidation ore	Steam-heated blanket	Vuggy quartz host	Overprinted on porphyry features
Fluids	<1% NaCl, gas-rich, <220°C (RB)	3-10+% NaCl, 220-280°C+ (AR)	<2 wt% NaCl	4-15+wt%NaCl	Variable
Examples	McLaughlin, Midas, Round Mountain, Sleeper, Hishikari (lowsulfidation)	Comstock, Tonopah, Creede, Fresnillo, Casapalca, Victoria (intermediate sulfidation-state)	Yanacocha, Pueblo Viejo, Pierina, La Coipa, Tambo, Pascua, Paradise Peak, Summitville, Rodalquilar, Kasuga	El Indio, Lepanto, Chinkuashih, Goldfield, Lahoca	Bisbee, MM, Chuquicamata

KESIMPULAN

Berdasarkan pengamatan dan analisis yang telah dilakukan pada 10 lubang bor dari 2 area (*Pit* A dan *Pit* C), litologi yang menyusun berupa satuan kubah intrusi dasit, breksi preatomagmatik *phase* 2, diorit, vulkanik dasit, breksi preatomagmatik *phase* 1 dan vulkanik andesit.

Zona alterasi yang dominan pada daerah penelitian adalah argilik lanjut. Terdapat juga zona alterasi argilik, dan sub-propilitik atau intermediet argilik (Gambar 32). Penggunaan analisis *corescan* dan *ASD*

sangat membantu dalam mengelompokkan mineral alterasi berdasarkan zona.



Gambar 32. Penampang zona alterasi section B-B', PIT C

Mineral-mineral sulfida seperti pirit, enargit, dan sfalerit dijumpai berupa *disseminated,* urat, *open space filling, dan massive.* Tipe deposit daerah penelitian termasuk ke dalam epitermal sulfidasi tinggi yang terbentuk pada kedalaman 500 – 1.000 meter (*intermediet*).

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih kepada General Manager dan Superitendent Geology Departemen Geoscience PT Bumi Suksesindo yang telah memberikan kesempatan saya melakukan penelitian di Daerah Tumpangpitu. Terima kasih kepada Management Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas bumi (PSDMBP) yang telah memberikan izin melakukan preparasi dan analisis sampel. Terima kasih juga kepada Management Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung yang telah membantu dalam proses penulisan.

DAFTAR PUSTAKA

Achdan, & Bachri. (1993). Peta Gelogi Lembar Blambangan, Jawa Timur. Bandung.

Bemmelen, V. (1948). *The Geology Of Indonesia.* Goverment Printing, The Hague 1949

Corbett, G., & Leach, T. (1997). *Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems: Structure, Alteration, and Mineralization.*

Dermawan, I. A., Subandrio, A. S., Rudyawan, A., Sanjaya, A. D., Maharief, R., Anditya, K., . . . Muttaqien, M. S. (2020). *Structural Control Related With Medium-To-Very High Au Grade At Pit B East And B West, Tujuh Bukit Mine, East Java*. Bulletin GEOLOGY Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian (FITB), 4, 456-473. doi:10.5614/bull.geol.2020.4.1.2

Dept. Geoscience, PT Bumi Suksesindo. *TB Geological Posters and Logging Atlas.* Unpublished.

Hammilton, W. (1979). Tectonics of the Indonesian Region.

Harrison, R. L. (2018). *The Tumpangpitu porphyry gold-copper-modlybdenum and high-sulfidation epithermal gold-silver deposit, Tujuh Bukit, Southeast Java, Indonesia.* University of Tasmania Open Access Repository.

Harrison, R. L., Maryono, A., Norris, M. S., Rohrlach, B. D., Cooke, D. R., Thompson, J. M., . . . Thiede, D. S. (2017). *Geochronology of the Tumpangpitu porphyry gold-copper-molybdenum and high-sulfidation epithermal gold-silver-copper deposit - Evidence for pre- and post-mineralization diatremes in the Tujuh Bukit district, Southeast Java, Indonesia*. *Economic Geology*.

Hauff, P. (2008). *An Overview Of Vis-Nir-Swir Field Spectroscopy As Applied To Precious Metals Exploration.* Arvada: Spectral International Inc.

Husein, S. (2016). *Fieldtrip Geologi Cekungan Jawa Timur Utara.* Yogyakarta: Dept. of Geological Engineering UGM.

Lawrence, L. (1981). *Ore Microscopy (Mineragraphy).* In: Mineralogy. Encyclopedia of Earth Science. Springer, Boston, MA. doi:https://doi.org/10.1007/0-387-30720-6_95

Lindgren, W. (1933). *Mineral Deposits.* New York and London: McGRAW-HILL BOOK COMPANY, Inc .

Myaing, Y. Y., Idrus, A., & Titisari, A. (2018, Februari). *Fluid Inclusion Study of The Tumpangpitu High Sulfidation Epithermal Gold Deposit in Banyuwangi District, East Java, Indonesia. Journal of Geoscience Engineering Environment and Technology, 03*, 8-14. doi:10.24273/jgeet.2018.3.01.1039

Noor, D., & Widodo, B. (2016). Alterasi Hidrotermal Daerah Wonotirto Dan Sekitarnya Kecamatan Wonotirto, Kabupaten Blitar, Jawa Timur. 1-12.

Pannekoek, A.J. (1949) Outline of the Geomorphology of Java. Reprint from Tijdschriftvan Het Koninklijk Nederlandsch Aardrijkskundig Genootschap, vol. LXVI part 3, E.J. Brill, Leiden, pp. 270-325.

Thompson, A.J.B., and Thompson, J.F.H., 1996, *Atlas of alteration: A field and petrographic guide to hydrothermal alteration minerals*: Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, 119 p.

White, N. C., & Hedenquist, J. W. (1995). *Epithermal Gold Deposits: Styles, Characteristics And Exploration*. *SEG Newsletter, 23*, 9-1.

Buletin Sumber Daya Geologi
Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi,
Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral
Website: https://buletinsdg.geologi.esdm.go.id
ISSN 1907-5367, e-ISSN 2580-1023



KARAKTERISTIK FISIK, GEOKIMIA DAN SEBARAN ENDAPAN NIKEL LATERIT DAERAH *LOJI BEACH*, PULAU OBI, KABUPATEN HALMAHERA SELATAN, PROVINSI MALUKU UTARA

PHYSICAL, GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS AND DISTRIBUTION OF NICKEL LATERITE DEPOSITS IN THE LOJI BEACH AREA, OBI ISLAND, SOUTH HALMAHERA DISTRICT, NORTH MALUKU PROVINCE

Eliana Trisusanti[1], Aton Patonah[1], Adi Hardiyono[1], dan Alan Matano[2]
[1]Universitas Padjadjaran, Bandung, Indonesia
[2]PT Trimegah Bangun Persada, Halmahera Selatan, Indonesia

Email korespondensi: eliana19001@mail.unpad.ac.id
Diterima: 29 November 2024; Direvisi: 10 April 2025; Disetujui: 21 Mei 2025
DOI: https://doi.org/10.47599/bsdg.v20i1.523

ABSTRAK
Indonesia merupakan salah satu negara penghasil nikel terbesar di dunia. Salah satu daerah penghasil nikel di Indonesia berada di daerah *Loji Beach* yang menjadi daerah penelitian. Daerah penelitian ini terletak di Pulau Obi, Kabupaten Halmahera Selatan, Provinsi Maluku Utara. Secara geologi, daerah penelitian tersusun oleh batuan ultramafik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik nikel laterit dan hubungannya dengan kondisi geologi di daerah penelitian dengan menggunakan metode petrografi sampel batuan dan geokimia XRF *(X-Ray Fluorescence)* sampel hasil pemboran. Data geokimia berupa kadar Ni dari data bor diinterpolasi dengan metode IDW menggunakan *software ArcGIS*. Berdasarkan hasil penelitian, Ni-laterit melimpah pada morfologi perbukitan landai dengan kemiringan lereng 0-7%. Batuan dasar pembawa Ni-laterit diduga berasal dari serpentinit dari hasil serpentinisasi harzburgit dan dunit. Berdasarkan analisis petrografi, batuan dasar tersusun oleh serpentin >85%, sisanya adalah relik mineral olivin dan ortopiroksen, serta mineral-mineral lainnya seperti talc, mineral oksida dan opak. Hasil analisis geokimia menunjukkan bahwa pada zona limonit terdapat kelimpahan unsur Fe sedangkan pada zona saprolit unsur Ni terkayakan dengan kadar 1,5%-2,8%.

Kata kunci*:* Pantai Loji, nikel laterit, geokimia, batuan dasar, morfologi

ABSTRACT
Indonesia is one of the largest nickel producing countries in the world. One of the nickel producing areas in Indonesia is in the Loji Beach area. This research area is located on Obi Island, South Halmahera Regency, North Maluku Province. Geologically, the research area is composed of ultramafic rocks. This research aims to determine the characteristics of nickel laterite and its relationship with geological conditions in the research area using petrographic methods of rock samples and XRF (X-Ray Fluorescence) geochemistry of drilling samples. Geochemical data in the form of Ni content from drill data was interpolated using the IDW method using ArcGIS software. Based on research results, Ni-laterite is abundant in the morphology of gentle hills with a slope of 0-7%. The base rock bearing Ni-laterite is thought to be serpentinite from the serpentinization of harzburgite and dunite. Based on petrographic

analysis, the bedrock is composed of >85% serpentine, the rest is relict minerals olivine and orthopyroxene, as well as other minerals such as talc, oxide minerals and opaque. The results of geochemical analysis show that in the limonite zone there is an abundance of Fe elements, while in the saprolite zone the Ni element is enriched with levels of 1.5% -2.8%.

***Keywords**: Loji Beach, nickel laterite, geochemistry, bedrock, morphology*

PENDAHULUAN

Nikel merupakan salah satu komoditi tambang yang sangat dibutuhkan di berbagai industri di dunia. Nikel dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan elemen paduan, pelapis, baterai, dan beberapa penggunaan lain, seperti peralatan dapur, telepon seluler, peralatan medis, transportasi, bangunan, pembangkit listrik, dan perhiasan. Penggunaan nikel didominasi oleh produksi feronikel untuk baja tahan karat (66%). Hal ini menunjukkan bahwa kebutuhan nikel dunia akan terus meningkat ditambah dengan isu penggunaan transportasi listrik di masa mendatang. Oleh karena itu, eksplorasi dan pengolahan cadangan nikel yang baru harus terus dilakukan.

Keberadaan nikel di alam ada dua jenis yaitu nikel sulfida dan nikel laterit. Menurut Mudd (2009), nikel sulfida terbentuk dari fraksinasi dan kristalisasi magma atau aliran lava purba yang melibatkan logam tembaga, kobal, emas dan paladium. Keterdapatan nikel sulfida berasosiasi dengan intrusi ultramafik-mafik (Vaughan dan Corkhill, 2017). Sedangkan nikel laterit terbentuk sebagai hasil dari proses pelapukan kimiawi (laterisasi) yang intensif dari batuan ultramafik yang kaya unsur Mg dan memiliki kadar Ni-primer 0,2-0,4% pada iklim tropis dengan curah hujan yang tinggi sehingga besarnya peluang terjadi pengayaan supergen (Elias, 2002; Golightly, 1981).

Sumber daya nikel dunia sebagian besar dihasilkan dari endapan nikel laterit yaitu sekitar 40% dari total produksi nikel yaitu sekitar 1 juta ton. Sebanyak 70% dari semua sumber daya nikel dunia terkandung dalam laterit (Elias, 2002). Berdasarkan data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral tahun 2023, sumber daya nikel di Indonesia selalu mengalami peningkatan sejak tahun 2019 hingga tahun 2023. Tahun 2023 sumber daya nikel mencapai 18,6 miliar ton dengan total cadangan sebesar 5,3 miliar ton. Sebaran sumber daya dan cadangan nikel terbesar berada di provinsi Sulawesi Tenggara, Sulawesi Tengah dan Maluku Utara. Studi dan eksplorasi nikel di Indonesia sudah banyak dilakukan baik mengenai nikel sulfida (Khadafi, dkk., 2013 dan Utami, 2022) maupun nikel laterit (Arifin, 2015; Kurniadi, dkk., 2017; Haya, dkk., 2019). Indonesia sebagai negara dengan iklim tropis memungkinkan terjadinya proses pelapukan yang tinggi pada batuan ultramafik sehingga menghasilkan endapan nikel laterit. Endapan ini dipengaruhi oleh kondisi tektonik yang merupakan pertemuan lempeng-lempeng besar yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng Pasifik, lempeng Eurasia dan lempeng Filipina. Aktivitas tektonik menyebabkan tersingkapnya batuan-batuan ultramafik dari ofiolit dan menghasilkan struktur-struktur yang kompleks (Sompotan, 2012). Batuan ultramafik yang tersingkap mengalami proses laterisasi akibat curah hujan yang tinggi dan mengalami pengkayaan kadar nikel pada zona-zona tertentu.

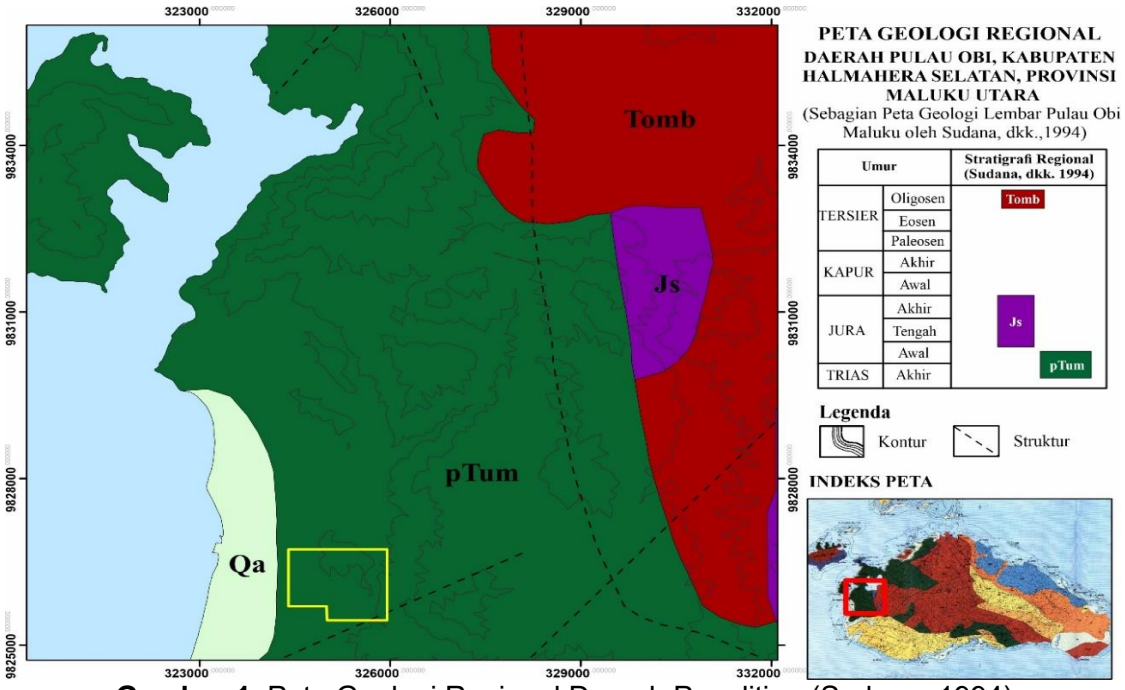
Nikel laterit umumnya dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu jenis batuan dasar, struktur geologi umumnya berupa kekar, topografi, iklim, pelarutan kimia, vegetasi, dan waktu. Batuan dasar menjadi salah satu faktor yang utama sebagai sumber penghasil nikel laterit. Unsur Ni hadir menggantikan ion Mg dan Fe dari mineral-mineral feromagnesian (umumnya olivin dan piroksen) pada batuan beku ultramafik dan berasosiasi dengan struktur geologi pada Prakambrian hingga Tersier (Waheed, 2008). Di Pulau Obi, nikel laterit

berasal dari batuan ultramafik berupa dunit dan lherzolit yang mengalami serpentinisasi dengan tingkat yang bervariasi. Lebih lanjut lagi, karakteristik mineralogi dan geokimia endapan nikel laterit di Pulau Obi menunjukkan perilaku unsur berbeda, yaitu menunjukkan adanya penambahan dan pengurangan unsur yang tergantung pada kondisi morfologi, litologi, struktur lokal yang membentuk rekahan pada batuan dasar, dan tingkat pelapukan pada setiap kedalaman (Haya dkk., 2019). Penelitian ini difokuskan pada karakteristik dan profil endapan nikel laterit di daerah penelitian dengan pendekatan petrografi dan geokimia untuk melihat hubungan antara proses lateritisasi dengan kondisi geologi untuk mendapatkan sebaran daerah yang memiliki potensi kelimpahan endapan nikel laterit.

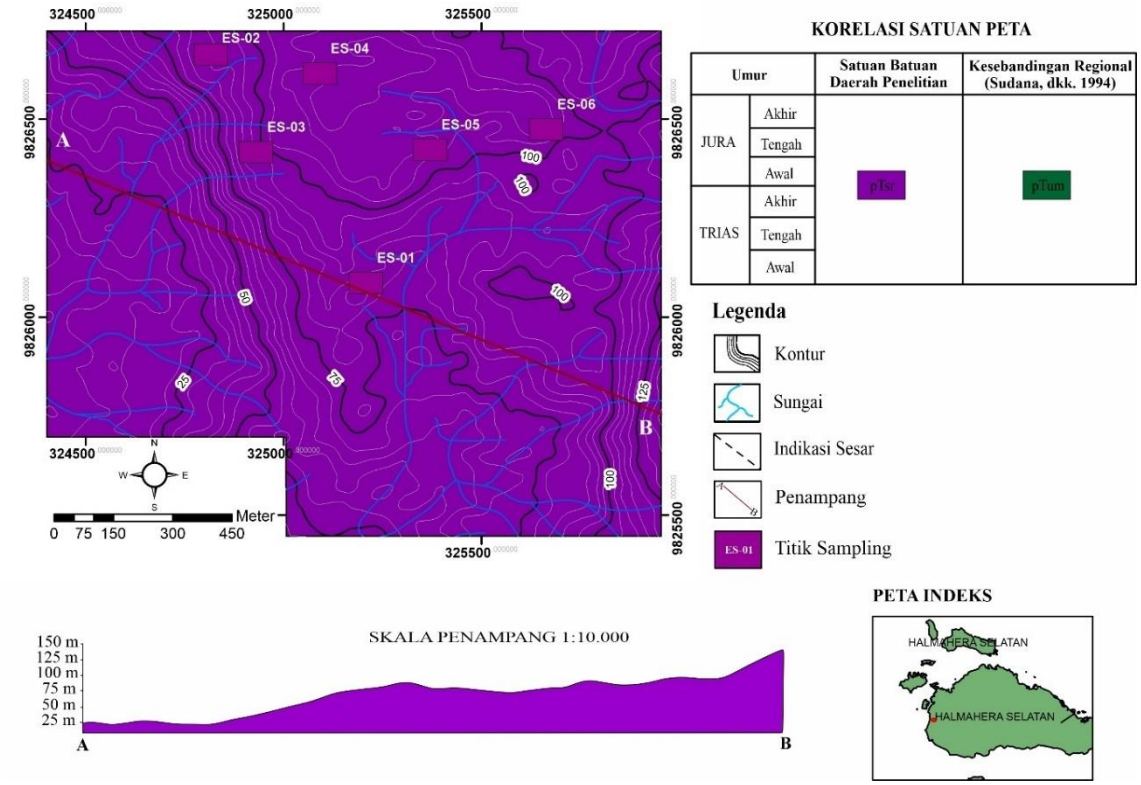
KONDISI GEOLOGI

Kondisi geologi regional daerah penelitian termasuk dalam lembar peta geologi regional Obi, Maluku (Sudana, dkk., 1994) pada kelompok batuan ultramafik berumur Trias Akhir – Jura Awal yang terdiri atas serpentinit, piroksenit, dan harzburgit (Gambar 1). Serpentinit berwarna abu-abu kehijau-hijauan tersusun oleh mineral-mineral serpentin, olivin, piroksen, kromit, magnetit dan oksida besi. Piroksenit berwarna abu-abu muda kehijau-hijauan terdiri dari piroksen, olivin, magnetit dan kromit. Harzburgit berwarna kuning kehijau-hijauan terdiri dari piroksen (enstatit), olivin dan bijih. Batuannya sangat tergeruskan, mengandung urat kuarsa dan kalsit, serpentinisasi sangat kuat dan setempat ditemukan retas diorit serta gabro yang mengandung pirit. Hasil observasi lapangan menunjukkan daerah penelitian didominasi oleh serpentinit (Gambar 2). Serpentinit mempunyai warna segar hitam kehijauan dan abu-abu kehijauan, tersusun atas mineral-mineral serpentin, olivin, piroksen, talc, mineral oksida dan opak. Struktur *veinlet* yang terisi oleh serpentin dan silika juga dapat diamati pada area tertentu.

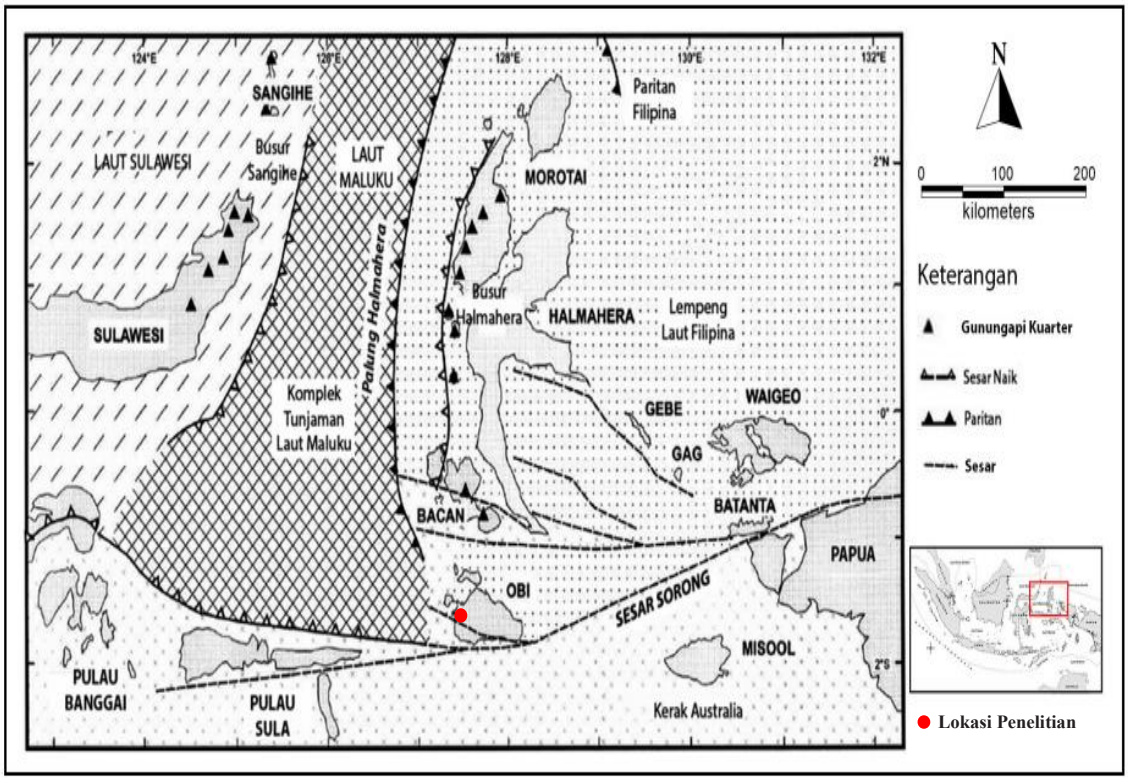
Pulau Obi dibatasi oleh dua lajur sesar besar yaitu sesar Sorong-Sula Utara di selatan dan sesar Sorong Maluku di Utara (Hamilton,1978). Sentuhan tektonik antara batuan ultramafik dan satuan batuan yang lebih muda membentuk sesar normal. Pola kelurusan pada daerah ini membentuk arah baratlaut-tenggara dan baratdaya-timurlaut (Gambar 3).



Gambar 1. Peta Geologi Regional Daerah Penelitian (Sudana, 1994)



Gambar 2. Peta Geologi Daerah Penelitian



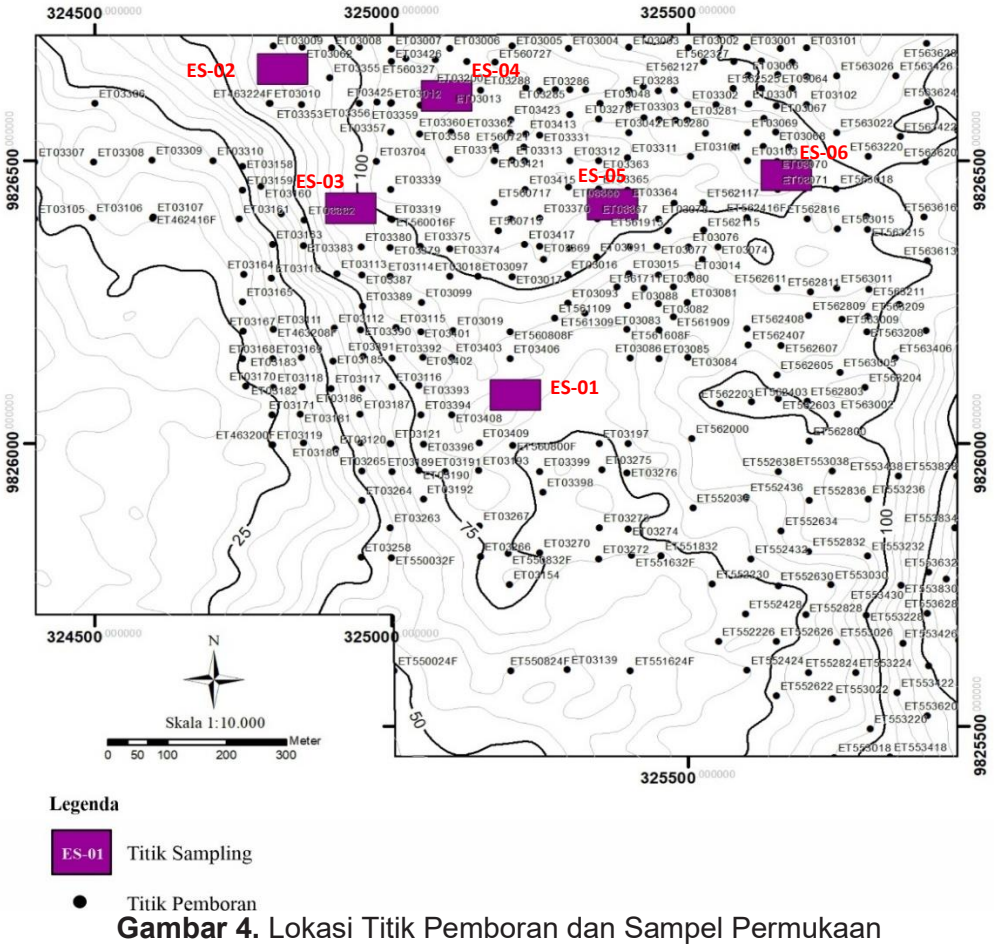
Gambar 3. Tatanan Tektonik Cekungan Obi (modifikasi dari Letouzey dkk., 1983)

BAHAN DAN METODE ANALISIS

Objek yang menjadi penelitian adalah batuan dasar (ultramafik), morfologi daerah penelitian, geokimia dan profil endapan laterit. Data yang digunakan terdiri atas data primer berupa 6 sampel batuan dasar tersingkap di permukaan dan data sekunder berupa 333 data pemboran di daerah penelitian. Pengeboran dilakukan dengan spasi 25 meter menggunakan *core drilling* HQ3 diameter 61.1 mm (Gambar 4).

Data primer merupakan sampel terpilih dari singkapan batuan segar di permukaan. Sampel batuan dasar yang diambil seluruhnya dipreparasi menjadi sayatan tipis *(thin section)* untuk dilakukan analisis petrografi. Hal ini bertujuan untuk mengidentifikasi karakeristik batuan dasar baik dari aspek warna, tekstur, komposisi mineral dan struktur pada batuan menggunakan mikroskop polarisasi sehingga dapat ditentukan nama batuan.

Adapun data sekunder berupa kajian peneliti terdahulu berupa peta geologi regional daerah penelitian, data DEM *(Digital Elevation Model)* dan data pemboran inti *(coring)*. Data *coring* berasal dari sampel tanah dan batuan pada tiap-tiap interval kedalaman setiap titik bor yang dianalisis geokimia dengan metode XRF (*X - Ray Fluorecence*) oleh PT. Trimegah Bangun Persada. Data geokimia *coring* setiap interval sampel terdiri dari elemen utama berupa FeO (total), MgO, SiO_2 dan Al_2O_3 dan elemen minor Ni, Co, Cr (%). Hasil data geokimia ini digunakan untuk mengetahui setiap perubahan zonasi dari profil endapan nikel laterit secara vertikal dari permukaan (lapisan penutup) hingga bawah permukaan (batuan dasar). Selanjutnya data kadar Ni dari hasil pemboran diolah menggunakan *software ArcGIS* 10.8 dan diinterpolasi dengan metode *Inverse Distance Weight* (IDW) untuk menghasilkan peta penyebaran zonasi kadar nikel laterit daerah penelitian.

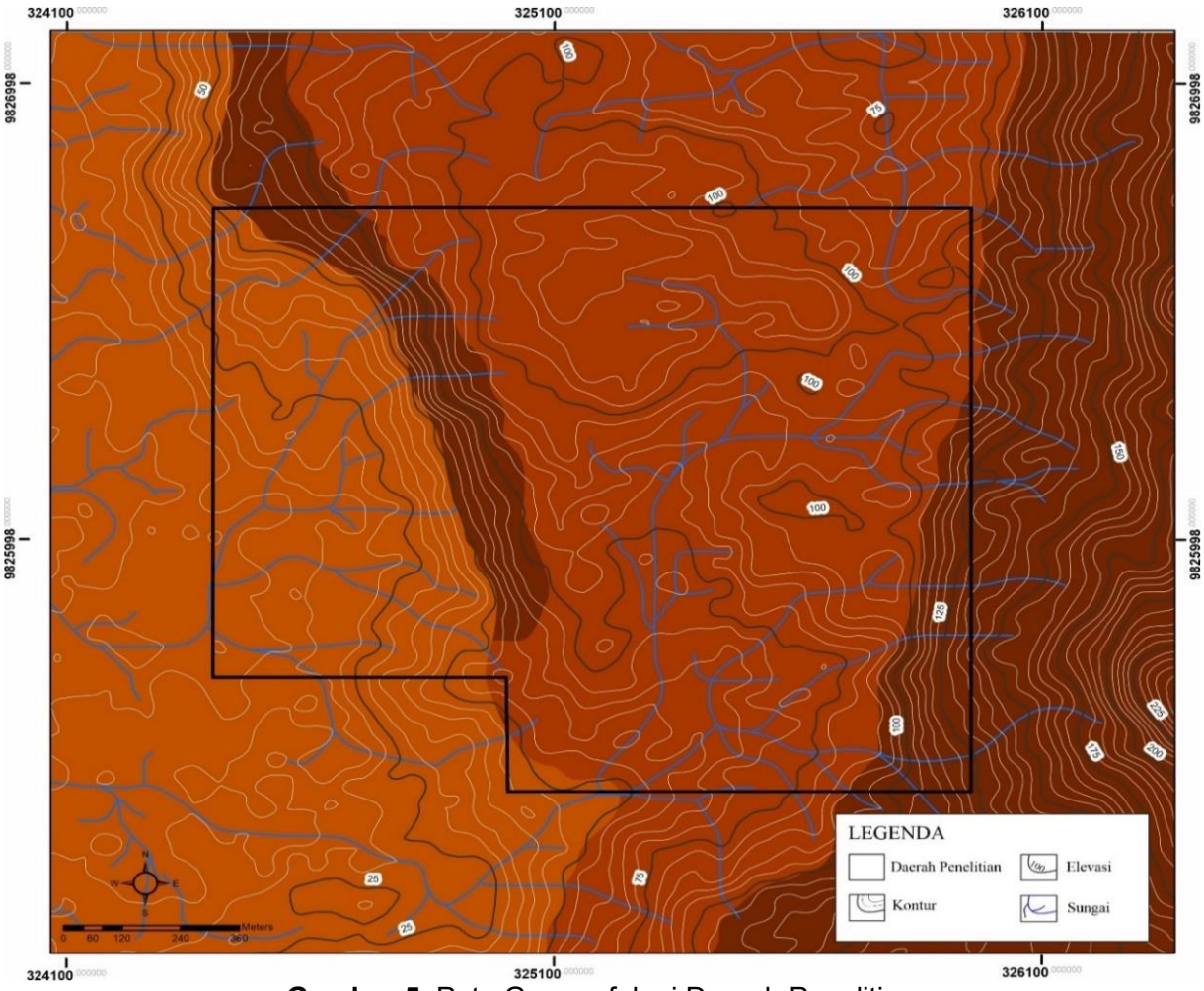


Gambar 4. Lokasi Titik Pemboran dan Sampel Permukaan

HASIL ANALISIS

Geomorfologi Daerah Penelitian

Geomorfologi daerah penelitian dibagi menjadi pedataran, perbukitan landai dan perbukitan curam (Gambar 5). Wilayah pedataran berada pada elevasi <50 mdpl dengan morfometri datar-sangat landai (0-2%) di daerah barat daerah penelitian. Perbukitan landai berada pada elevasi 75-100 mdpl dengan morfometri sangat landai-landai (2-15%) pada bagian tengah daerah penelitian. Sementara itu, perbukitan curam berada pada elevasi 100-150 mdpl dengan morfometri agak curam-curam (>15%) yang tersebar pada bagian tenggara daerah penelitian.



Gambar 5. Peta Geomorfologi Daerah Penelitian

Tabel 1. Satuan Geomorfologi Daerah Penelitian

Satuan Geomorfologi	Warna	Morfografi			Morfometri			Morfogentik		
		Bentuk Lahan	Pola Pengaliran	Bentuk Lembah	Elevasi (m)	Kemiringan Lereng		Endogen	Eksogen	Litologi
						Kelas	%			
Pedataran Denudasional		Dataran	Subdendritik	U	0-25	Datar-Landai	0-7	Tektonik	Pelapukan dan Erosi	Serpentinit
Perbukitan Denudasional Landai		Perbukitan	Subdendritik	U-V	75-100	Sangat Landai-Landai	2-15	Tektonik	Pelapukan dan Erosi	Serpentinit
Perbukitan Denudasional Curam		Perbukitan	Rectangular	V	100-150	Agak Curam-Curam	15-30	Tektonik	Pelapukan dan Erosi	Serpentinit

Petrologi Batuan Dasar

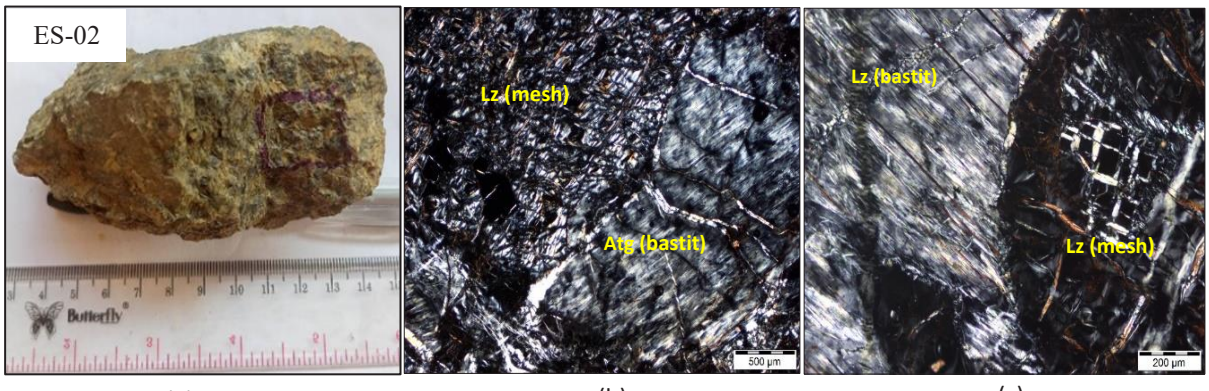
Hasil penelitian lapangan dan analisis petrografi menunjukkan bahwa daerah penelitian tersusun oleh serpentinit dengan karakteristik yang berbeda. Karakteristik batuan ultramafik dapat dijelaskan berdasarkan pengamatan megaskopis dan mikroskopis sampel batuan yang menyebar di daerah penelitian.

Ada 6 (enam) sampel terpilih di daerah penelitian. Sampel batuan pada nomor ES-01, ES-02, ES-04, ES-05 dan ES-06 memiliki warna lapuk hitam kecoklatan, warna segar hitam kehijauan dan abu-abu kehijauan, indeks warna hipermelanik, dengan tekstur faneritik. Mineral penyusun yang teramati didominasi oleh serpentin, ditambah kehadiran sedikit mineral olivin dan piroksen yang masih dapat teramati, terlihat pula beberapa mineral yang teroksidasi. Struktur *veinlet* yang terisi oleh serpentin dan silika juga dapat diamati pada area tertentu.

Hasil analisis petrografi menunjukkan kelimpahan mineral-mineral penyusun dari setiap sampel batuan (Tabel 2), contonya sampel batuan nomor ES-02 menunjukkan kehadiran mineral serpentin yang mendominasi pada sayatan batuan dengan tekstur khusus yaitu tekstur mesh ubahan dari olivin dan tekstur bastit ubahan piroksen yaitu didominasi oleh jenis ortopiroksen (Gambar 6). Mineral serpentin (antigorit) juga mengisi *veinlet* pada batuan. Relik ortopiroksen juga hadir dari ortopiroksen yang terserpentinisasi. Selain itu terdapat juga mineral opak berwarna hitam dan mineral teroksidasi berwarna kecoklatan hadir secara *spotted*. Berdasarkan komposisi mineralnya yang didominasi oleh mineral serpentin, batuan ini dinamakan serpentinit dari ubahan harzburgit (Winter,2001).

Tabel 2. Kelimpahan mineral-mineral penyusun batuan dari sampel permukaan (Ser=serpentin; Ol=olivin; Ops=orthopiroksen; Cpx=klinopiroksen; Oks=Oksida; Tlc=Talc; Opq=Opak)

Kode Sampel	Litologi	Mineral Penyusun Batuan (%)							Protolith
		Ser	Ol	Ops	Cpx	Oks	Tlc	Opq	
ES-01	Serpentinit	80	0	5	0	7	5	2	Harzburgit
ES-02	Serpentinit	88	0	7	0	2	1	2	Harzburgit
ES-03	Serpentinit	85	2	2	0	5	3	2	Dunit
ES-04	Serpentinit	85	0	7	3	2	2	1	Harzburgit
ES-05	Serpentinit	85	0	7	2	3	0	3	Harzburgit
ES-06	Serpentinit	85	2	8	0	3	0	2	Harzburgit



(a) (b) (c)

Gambar 6. (a) Sampel ES-02 Serpentinit (metamorfisme harzburgit); (b) dan (c) sayatan tipis serpentinit pada kenampakan XPL yang memperlihatkan tekstur mesh dan bastit (Lz = lizardit, Atg = antigorit).

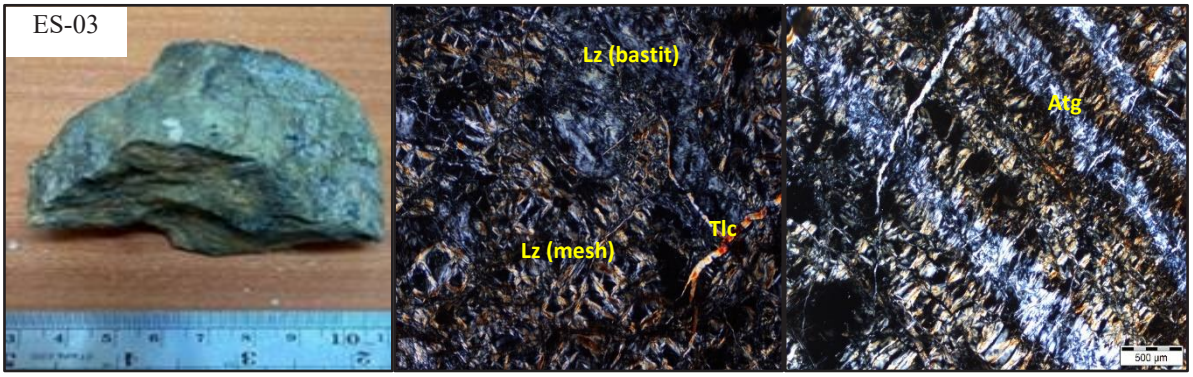
Serpentinit berikutnya memiliki perbedaan dengan di atas, yaitu dijumpai pada stasiun ES-03. Secara megaskopis, batuan ini memiliki warna lapuk hitam kecoklatan dan warna segar hitam kehijauan, indeks warna hipermelanik, granularitas faneritik. Kehadiran mineral serpentin dapat teramati yang merupakan hasil dari ubahan mineral utamanya yaitu olivin dan piroksen. Sedikit mineral olivin dan piroksen yang dapat diidentifikasi. Selain itu terdapat mineral teroksidasi. Oleh karena itu batuan ini telah mengalami serpentinisasi. Dapat terlihat juga *veinlet* yang terisi oleh mineral serpentin dan talk (Tabel 2).

Berdasarkan hasil analisis petrografi (Gambar 7), sampel batuan nomor ES-03 memperlihatkan granularitas batuan faneritik, kristalinitas holokristalin, keseragaman kristal inequigranular, bentuk butir hipidiomorf. Batuan didominasi oleh serpentin dengan tekstur khusus yaitu mesh hasil ubahan dari olivin, dan tekstur bastit hasil ubahan piroksen jenis ortopiroksen. Serpentin (krisotil dan antigorit) juga mengisi *veinlet* pada batuan. Selain itu terdapat juga talk, mineral opak dan mineral oksida berwarna kecoklatan hadir secara *spotted*. Berdasarkan komposisi mineralnya, batuan ini dinamakan serpentinit dari ubahan dunit (Winter,2001).

Geokimia Profil Nikel Laterit

Analisis geokimia menggunakan alat XRF dilakukan dengan tujuan mengetahui unsur utama seperti FeO, MgO dan SiO2 dan unsur minor yaitu Ni, Co, Cr dan Al2O3 pada setiap zona profil endapan nikel laterit pada daerah penelitian. Analisis ini dilakukan terhadap conto soil dan batuan dari 333 titik pemboran untuk mengevaluasi komposisi dan hubungan unsur-unsur kimia tersebut (Tabel 3).

Plot data dalam diagram ternary SiO_2, MgO dan FeO (Gambar 8a) yang diolah dengan *Ms. Excel* dari data pemboran memperlihatkan bahwa zona limonit sangat kaya akan unsur Fe dan semakin menuju zona batuan dasar menunjukkan kelimpahan MgO dan SiO_2. *Scatter plot* antara SiO_2(%) dan MgO(%) vs Fe(%) (Gambar 8b) menggambarkan suatu hubungan antara SiO_2 dan MgO terhadap Fe. Garis merah pada diagram *scatter plot* menunjukkan adanya korelasi negatif, yaitu nilai senyawa kimia MgO dan SiO_2 yang semakin tinggi akan menghasilkan nilai unsur Fe yang semakin rendah.



(a) (b) (c)

Gambar 7. (a) Sampel ES-03 serpentinit (metamorfisme dunit); (b) dan (c) sayatan tipis serpentinit pada kenampakan XPL memperlihatkan tekstur *mesh* dan bastit, dan terdapat *veinlet* yang diisi serpentin (Lz = lizardit, Tlc = talc, Atg = antigorit).

Tabel 3. Hasil Analisis XRF Data Pemboran

Hole_Id	Koordinat			Depth		%Total							Profil
	X	Y	Z	from	to	Ni	Co	Fe	SiO_2	MgO	Cr	Al	
ET560808F	325200.25	9826198.1	64.189	0	1	0.46	0.03	48.85	2.44	0.71	2.56	6.25	lim
ET560808F	325200.25	9826198.1	64.189	1	2	0.39	0.02	47.36	1.52	0.44	2.06	6.96	lim
ET560808F	325200.25	9826198.1	64.189	2	3	0.47	0.05	48.95	1.51	0.53	1.67	5.99	lim
ET560808F	325200.25	9826198.1	64.189	3	4	0.79	0.13	50.26	3.26	1.12	2.19	4.01	lim
ET560808F	325200.25	9826198.1	64.189	4	5	1.15	0.14	50.28	4.07	1.44	2.23	3.32	lim
ET560808F	325200.25	9826198.1	64.189	5	6	1.15	0.11	45.13	14.93	2.09	2.12	2.40	lim
ET560808F	325200.25	9826198.1	64.189	6	6.45	1.33	0.11	52.25	4.6	2.25	2.36	2.13	lim
ET560808F	325200.25	9826198.1	64.189	6.45	7	0.91	0.04	21.5	28.83	24.44	1.07	1.01	sap
ET560808F	325200.25	9826198.1	64.189	7	8	0.95	0.03	18.97	30.81	26.92	1.02	0.47	sap
ET560808F	325200.25	9826198.1	64.189	8	9	0.45	0.01	7.71	38.80	36.16	0.44	0.11	brk
ET560808F	325200.25	9826198.1	64.189	9	9.35	0.56	0.02	8.24	39.15	34.89	0.47	0.15	brk
ET560808F	325200.25	9826198.1	64.189	9.35	10	0.33	0.01	6.22	39.63	37.55	0.33	0.11	brk
ET560808F	325200.25	9826198.1	64.189	10	11	0.23	0.01	5.3	39.83	38.31	0.26	0.21	brk
ET560808F	325200.25	9826198.1	64.189	11	12	0.22	0.01	4.85	40.6	37.79	0.26	0.24	brk
ET560008F	325008.60	9826204.9	62.164	0	1	1.04	0.13	50.89	2.59	0.94	2.32	2.86	lim
ET560008F	325008.60	9826204.9	62.164	1	2	1.09	0.29	51.12	2.36	1.49	3.10	1.94	lim
ET560008F	325008.60	9826204.9	62.164	2	3	1.41	0.30	48.46	5.47	2.80	2.32	2.23	lim
ET560008F	325008.60	9826204.9	62.164	3	4	1.74	0.19	41.64	12.05	6.72	2.03	2.14	lim
ET560008F	325008.60	9826204.9	62.164	4	5	1.76	0.10	25.33	28.06	16.67	1.15	1.20	sap
ET560008F	325008.60	9826204.9	62.164	5	6	1.82	0.08	29.05	28.53	11.88	1.41	1.20	sap
ET560008F	325008.60	9826204.9	62.164	6	6.45	1.82	0.07	23.55	31.58	18.03	1.02	0.84	sap
ET560008F	325008.60	9826204.9	62.164	6.45	7	1.49	0.02	8.04	38.99	32.55	0.42	0.45	sap
ET560008F	325008.60	9826204.9	62.164	7	8	0.38	0.01	5.79	39.80	35.97	0.28	0.38	sap
ET560008F	325008.60	9826204.9	62.164	8	8.45	0.44	0.01	5.71	39.77	36.62	0.27	0.37	sap
ET560008F	325008.60	9826204.9	62.164	8.45	9	1.59	0.06	11.22	36.78	29.99	0.59	0.60	sap
ET560008F	325008.60	9826204.9	62.164	9	10	0.88	0.02	5.99	39.94	36.03	0.38	0.24	sap
ET560008F	325008.60	9826204.9	62.164	10	11	0.96	0.01	6.41	42.50	33.96	0.48	0.35	sap
ET560008F	325008.60	9826204.9	62.164	11	12	1.33	0.04	9.79	40.51	30.60	0.52	0.55	sap
ET560008F	325008.60	9826204.9	62.164	12	13	0.47	0.01	5.91	39.95	36.43	0.30	0.28	brk
ET560008F	325008.60	9826204.9	62.164	13	14	0.29	0.01	5.67	38.44	37.49	0.28	0.32	brk

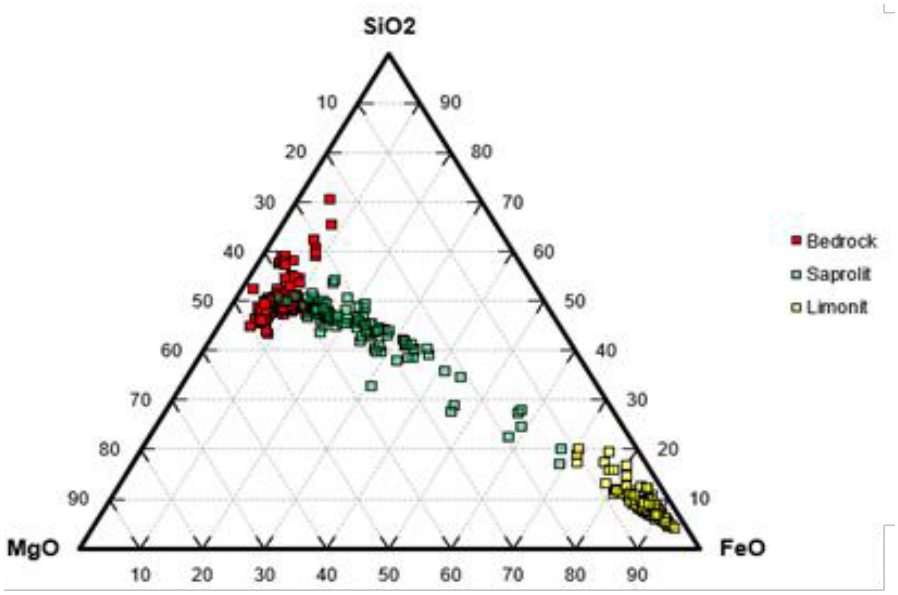
Unsur Fe dapat menjadi indikator yang tepat untuk menunjukkan intensitas pelapukan kimia dan proses pencucian *(leaching)* yang membentuk suatu profil laterit. Oleh karena itu, unsur Fe sangat melimpah pada zona limonit dan mulai mengalami penurunan pada zona saprolit hingga menjadi sangat sedikit pada zona batuan dasar. Sebaliknya, kelimpahan senyawa MgO dan SiO_2 pada zona limonit sangat rendah dan meningkat pada zona saprolit hingga sangat melimpah pada zona *bedrock* karena senyawa ini bersifat *soluble* atau mudah larut (Waheed, 2002) sehingga ketika terjadi laterisasi senyawa ini akan ikut larut dan mengendap di bagian bawah.

Geokimia profil endapan laterit menggambarkan kecenderungan pola kelimpahan unsur secara vertikal di bawah permukaan yang dipengaruhi oleh proses laterisasi. Proses laterisasi yang terjadi menyebabkan tiga perilaku unsur yaitu pelindian (*leaching*) MgO dan SiO_2 yang mobilitasnya tinggi, pengayaan (supergen) unsur Ni dan Co yang mobilitasnya terbatas, serta residual unsur oleh Fe, Cr dan Al yang tidak memiliki mobilitas (Waheed, 2002).

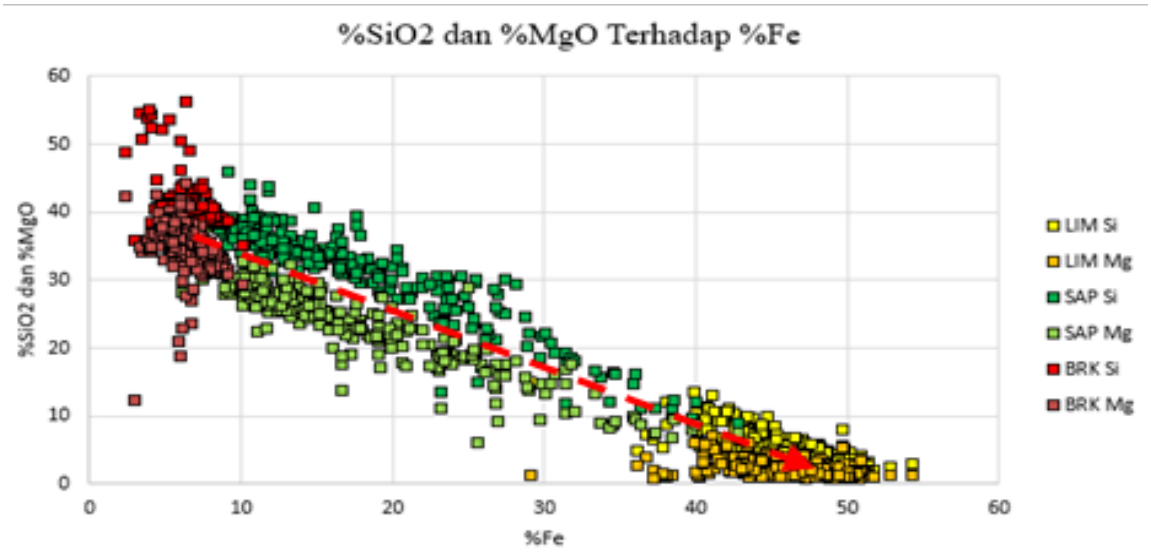
Diagram kimia elemen utama (Gambar 9a) dan minor (Gambar 9b) menggambarkan suatu pola profil endapan nikel laterit dari titik bor inti secara keseluruhan. Pola yang terlihat adalah SiO_2 mengalami pelindian pada zona limonit dan terkonsentrasi ke arah zona saprolit. Sama halnya dengan MgO juga memperlihatkan perilaku serupa, yang menggambarkan bahwa keduanya mudah larut *(soluble)* selama proses laterisasi ke arah zona saprolit. Sebaliknya, unsur Fe dan Al mengalami peningkatan pada zona limonit dan menurun secara signifikan ketika memasuki zona saprolit.

Grafik geokimia elemen minor Co dan Cr memperlihatkan pola yang relatif sama dengan Fe, yaitu kelimpahannya terjadi pada zona limonit yang mengalami penurunan kadar ketika memasuki zona saprolit. Sedangkan unsur Ni mengalami pengayaan pada zona saprolit dibandingkan dengan zona limonit.

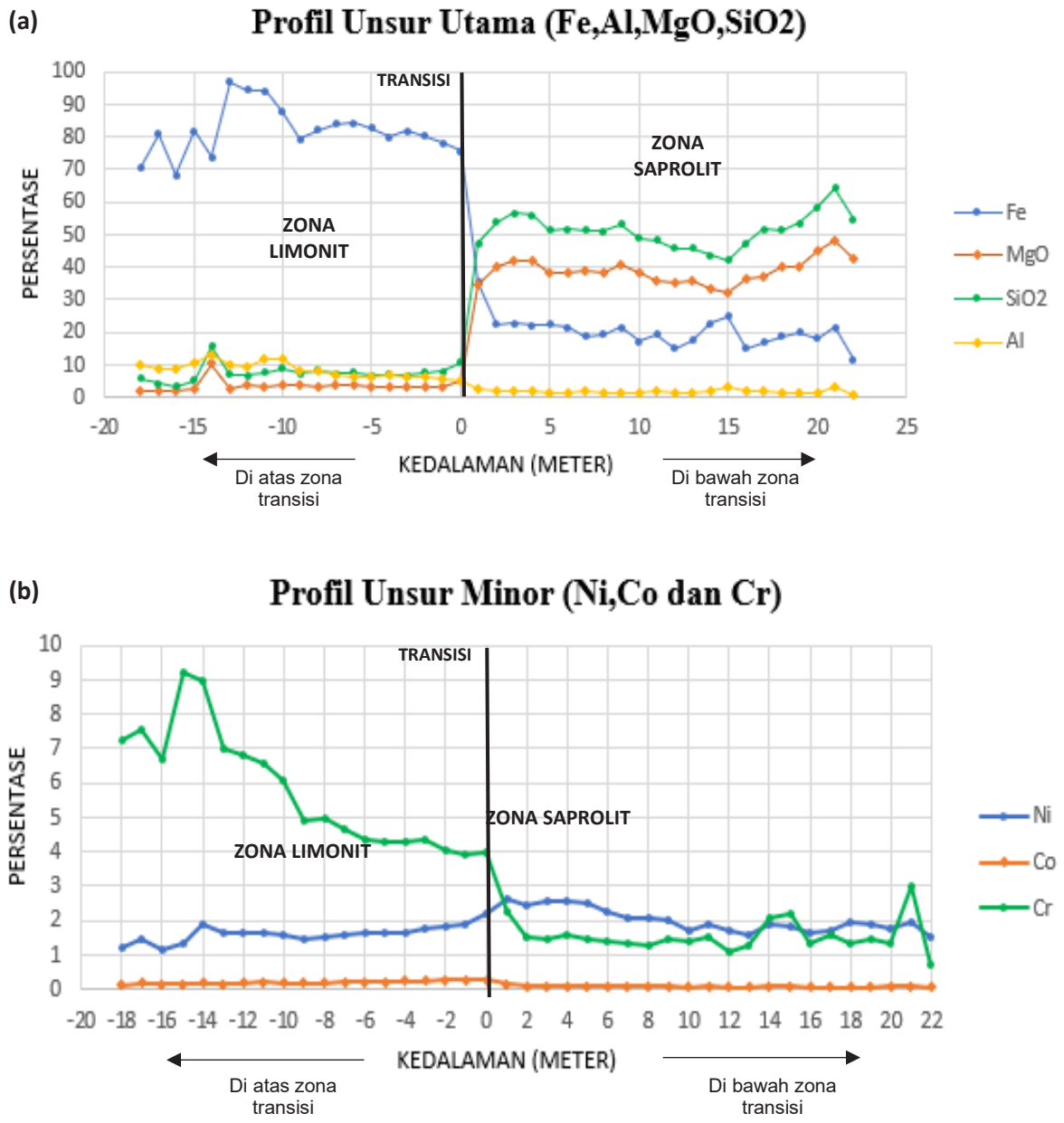
Geokimia elemen utama dan minor yang diperlihatkan dalam grafik menunjukkan suatu pola yang normal berdasarkan sifat mobilitas unsur (Waheed, 2002), dimana SiO_2, MgO, dan Ni yang memiliki mobilitas tinggi mengalami pelindihan (*leaching*) sehingga terbawa ke zona yang lebih dalam dan terkonsentrasi pada zona saprolit. Sebaliknya, unsur Fe, Al_2O_3, Cr_2O_3, dan Co bersifat *non mobile* sehingga unsur-unsur ini terkonsentrasi pada zona limonit. Kadar Ni pada zona limonit <1,8% kemudian mengalami peningkatan pada zona saprolit dengan kadar Ni 1,5-2,8% dan kembali mengalami penurunan menuju zona batuan dasar.



Gambar 8a. *Ternary* Diagram untuk %SiO_2, %MgO dan %FeO



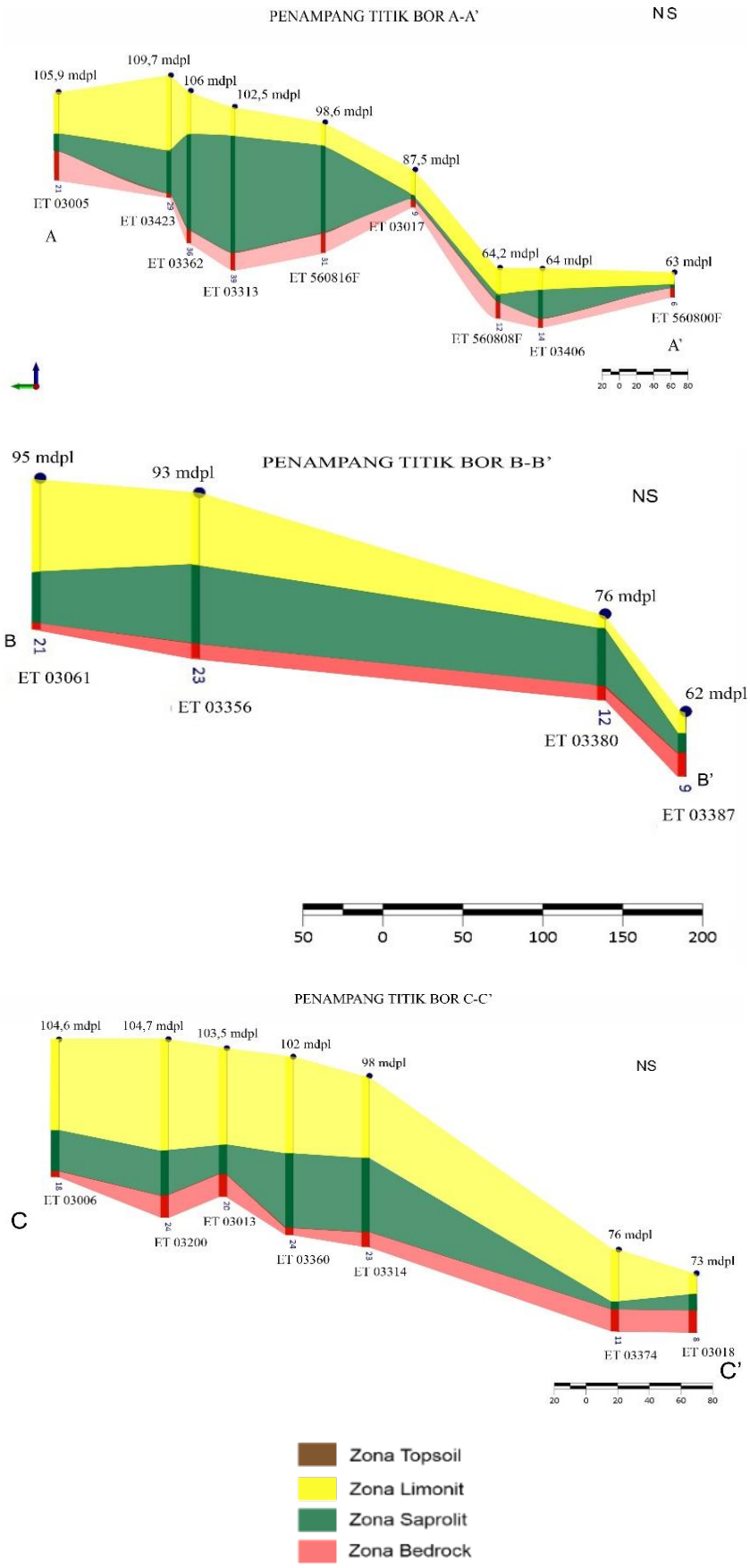
Gambar 8b. *Scatter Plot Tren Polynomial* Nilai Unsur % SiO_2 dan % MgO terhadap % Fe (LIM = limonit; SAP = saprolit, BRK = batuan dasar)

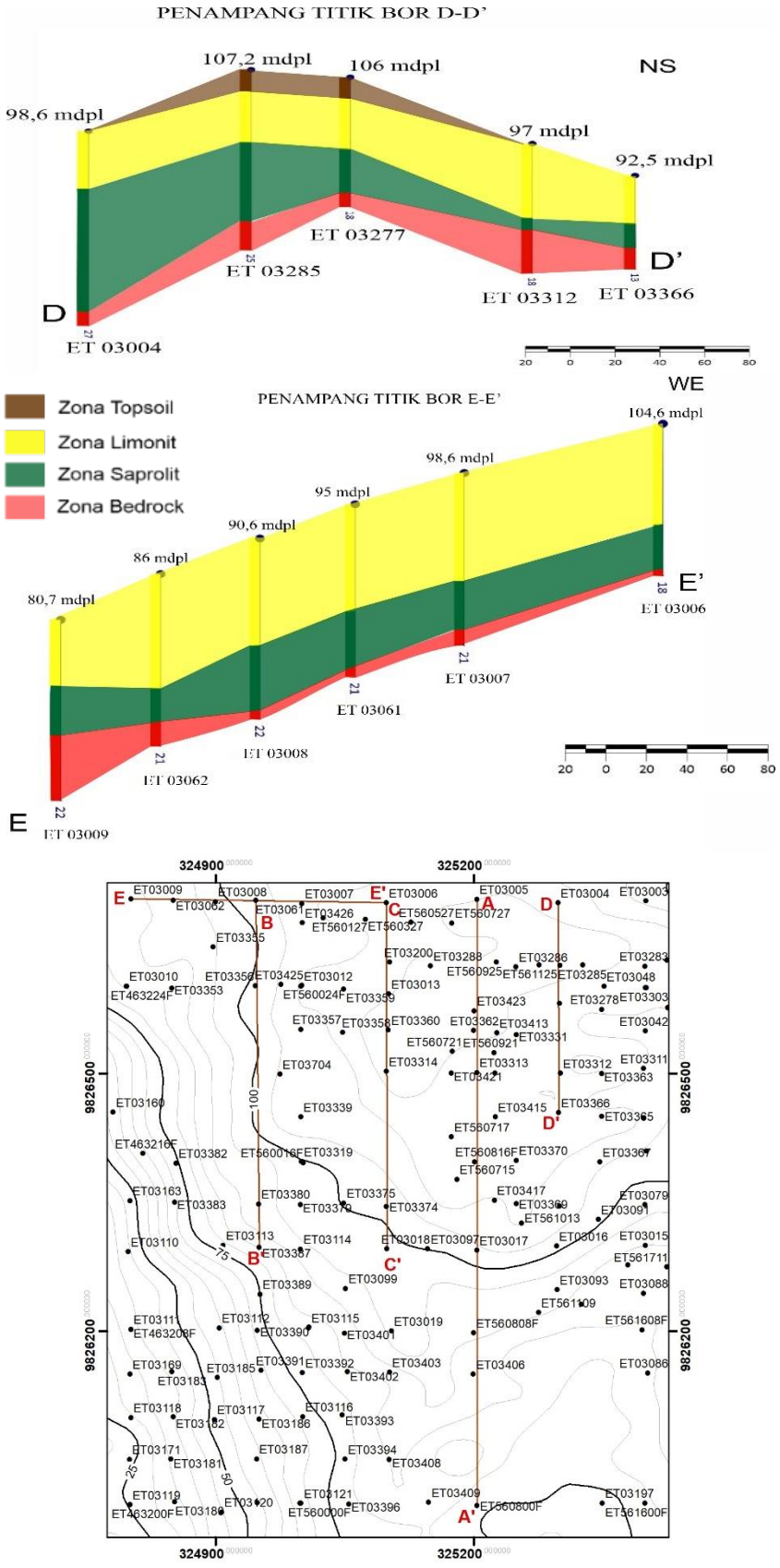


Gambar 9. Profil Geokimia Unsur Utama (a) dan Unsur Minor (b) Endapan Nikel Laterit Daerah Penelitian

PEMBAHASAN

Hasil integrasi dari korelasi data bor inti yang didukung dengan data geokimia, dibuat beberapa penampang untuk menggambarkan pola profil laterit, ketebalan, dan sebaran endapan nikel lateritnya (Gambar 10). Penampang ini menunjukkan zona limonit dan saprolit menebal ke arah utara dan menipis ke arah selatan daerah penelitian yang berarti bahwa tingkat laterisasi terjadi sangat intens pada bagian utara daerah penelitian. Hal tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu, proses pelapukan dan morfologi.


PENAMPANG TITIK BOR A-A'
NS
105,9 mdpl
109,7 mdpl
106 mdpl
102,5 mdpl
98,6 mdpl
87,5 mdpl
64,2 mdpl
64 mdpl
63 mdpl
ET 03005
ET 03423
ET 03362
ET 03313
ET 560816F
ET 03017
ET 560808F
ET 03406
ET 560800F
A
A'
PENAMPANG TITIK BOR B-B'
NS
95 mdpl
93 mdpl
76 mdpl
62 mdpl
B
B'
ET 03061
ET 03356
ET 03380
ET 03387
50 0 50 100 150 200
PENAMPANG TITIK BOR C-C'
NS
104,6 mdpl
104,7 mdpl
103,5 mdpl
102 mdpl
98 mdpl
76 mdpl
73 mdpl
C
C'
ET 03006
ET 03200
ET 03013
ET 03360
ET 03314
ET 03374
ET 03018
20 0 20 40 60 80
Zona Topsoil
Zona Limonit
Zona Saprolit
Zona Bedrock

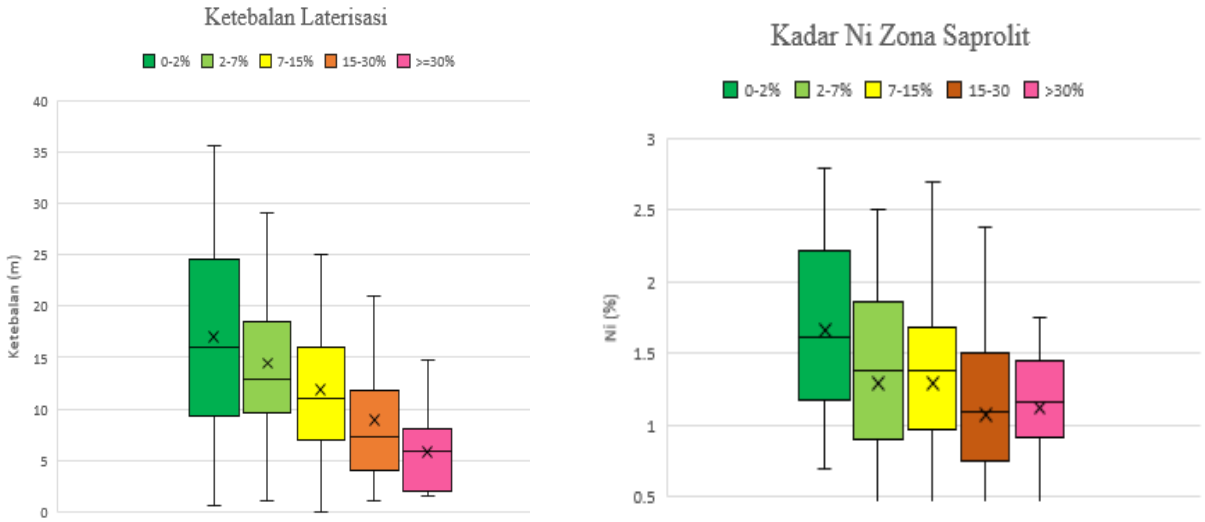


Gambar 10. Penampang titik bor (AA'; BB'; CC'; DD'dan EE') menunjukkan profil endapan nikel laterit di daerah penelitian

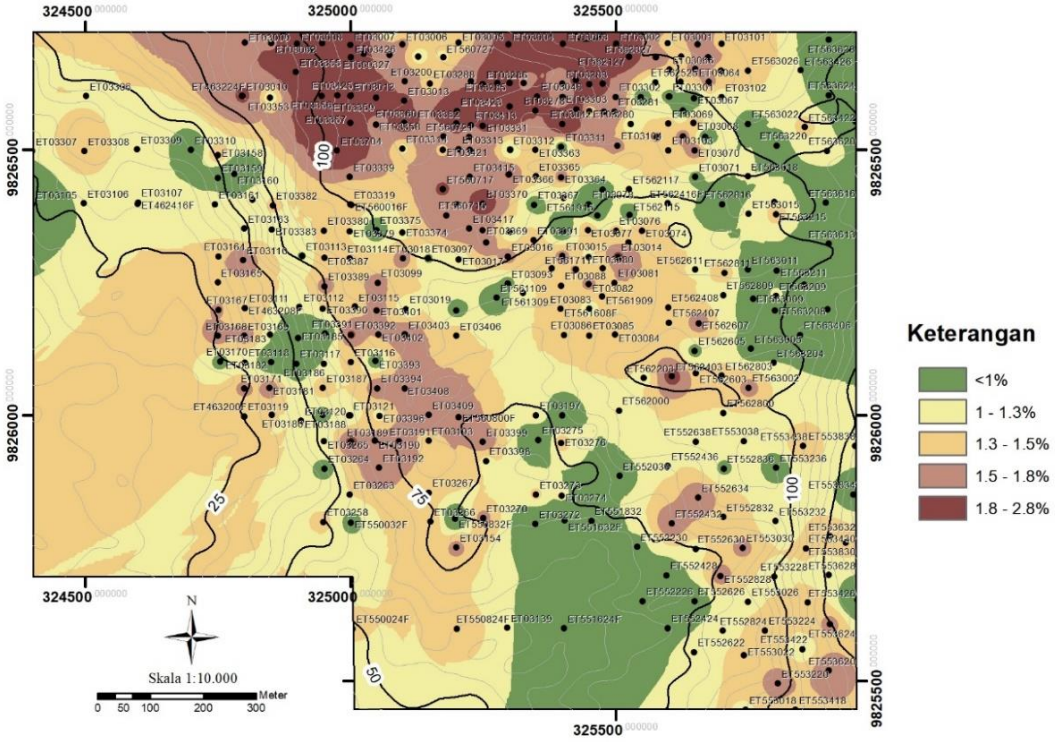
Berdasarkan diagram *boxplot* (Gambar 11), ketebalan laterisasi (zona limonit dan saprolit) yang paling tebal terjadi pada kondisi lereng yang relatif datar sampai sangat landai (0-7%/0-4%) yaitu dengan rata-rata ketebalan 12-17 meter dan kadar Ni pada zona saprolit juga menunjukkan kondisi pada lereng yang serupa dengan kadar Ni rata-rata 1,7%. Semakin curam lereng maka semakin tipis zona laterisasi yang terbentuk dan kadar Ni juga akan semakin kecil. Hal ini terjadi karena pada lereng yang curam proses infiltrasi air tidak terjadi dengan baik. Jumlah air yang meluncur *(run off)* lebih banyak daripada air yang meresap sehingga proses pelapukan kurang intensif. Sebaliknya, pada lereng yang relatif landai memungkinkan air untuk terinfiltrasi secara perlahan dan lebih dalam melalui rekahan dan pori pada batuan sehingga proses laterisasi berlangsung lebih intensif.

Penyebaran nikel laterit pada daerah penelitian diperoleh melalui interpolasi dengan metode IDW (*Inverse Distance Weight*) terhadap data pemboran. Zonasi kadar Ni pada zona saprolit yang telah diinterpolasi menunjukkan kadar Ni yang bervariatif pada zona saprolit dengan kadar Ni tertinggi yaitu 2,8%. Kadar Ni diatas *cut of grade* (CoG > 1,5%) terdapat pada bagian utara daerah penelitian (Gambar 12) yang menghasilkan kadar Ni tertinggi ketika mengalami laterisasi. Penyebaran nikel laterit pada daerah penelitian dipengaruhi oleh tingkat kemiringan lereng, semakin besar kemiringan lereng maka ketebalan endapan nikel laterit akan semakin menipis. Selain itu juga dipengaruhi oleh mineral serpentin dari batuan dasar yang terbentuk ketika proses laterisasi, saat batuan ultramafik menjadi serpentinit akan melepaskan unsur Fe sehingga memisahkannya terhadap unsur Ni-Mg, hal ini yang mempercepat proses laterisasi.

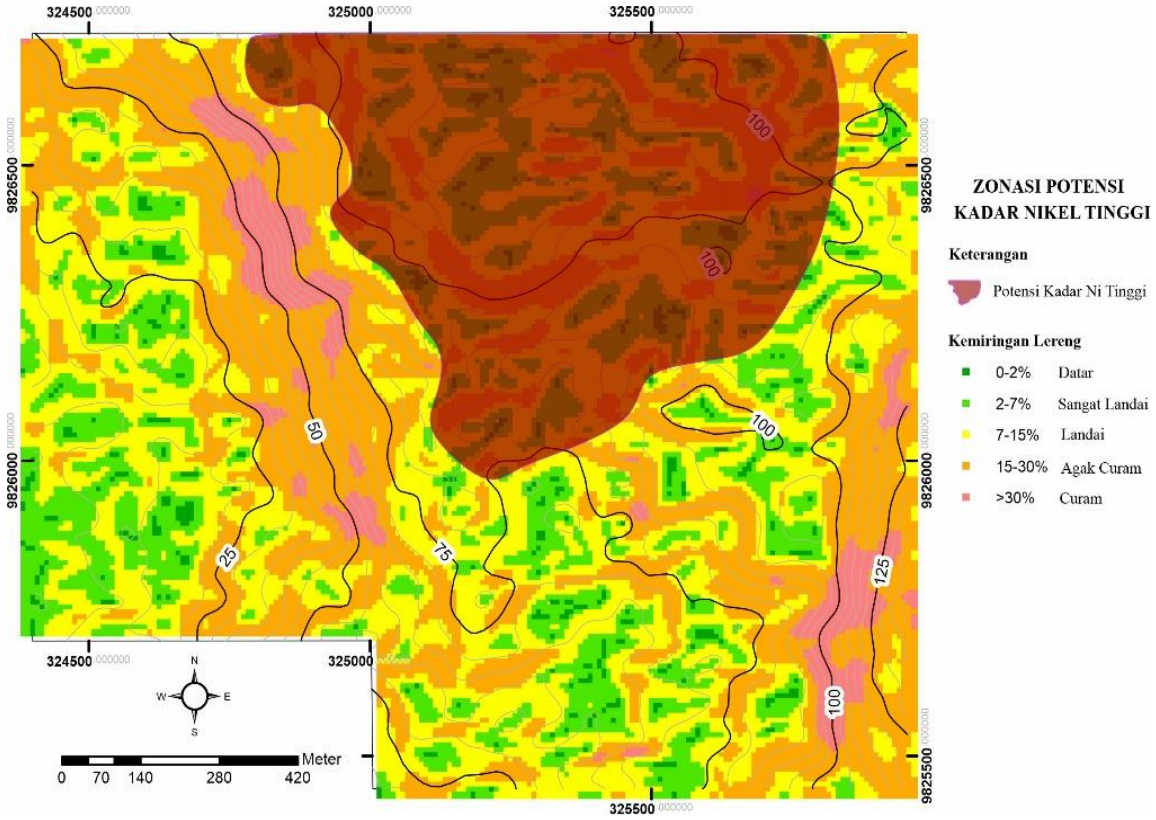
Berdasarkan peta *overlay* kemiringan lereng (Gambar 13), sebaran batuan dasar dan zonasi kadar Ni tinggi pada daerah penelitian diperoleh bahwa potensi kadar Ni yang tinggi ditunjukkan pada bagian utara daerah penelitian dengan penyusun batuan dasar serpentinit pada kemiringan lereng datar hingga landai. Hal ini menunjukkan kondisi geologi yang disusun oleh batuan serpentinit dari ubahan harzburgit dan dunit dengan kondisi topografi morfologi perbukitan landai menghasilkan endapan laterit yang relatif tebal dengan kadar Ni yang relatif tinggi.



Gambar 11. Diagram *boxplot* ketebalan laterisasi (kiri) dan kadar Ni (kanan) berdasarkan kemiringan lereng



Gambar 12. Peta Zonasi Sebaran Kadar Ni Zona Saprolit di Daerah Penelitian



Gambar 13. Zonasi Potensi Kadar Ni Tinggi terhadap kemiringan lereng dan jenis batuan dasar

KESIMPULAN

Endapan nikel yang tersingkap di daerah Pulau Obi merupakan hasil pelapukan batuan dasar serpentinit yang mengalami proses pelindian dan selanjutnya nikel terakumulasi pada zona saprolit. Endapan ini tersebar baik di bagian utara daerah penelitian pada morfologi perbukitan landai dengan ketebalan 12-17 meter dan kadar Ni 1,8-2,8%. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan untuk eksplorasi lebih lanjut.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada seluruh pihak yang turut serta memberi waktu, ilmu dan pikiran dalam setiap proses penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada PT. Trimegah Bangun Persada (TBP), atas izin penggunaan data dan persetujuan yang diberikan untuk penulisan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

Ardiansyah, R., Kamaruddin, H., Rosana, F, M., & Yuningsih, T, E. (2019). Geokimia Endapan Nikel Laterit di Tambang Utara, Kecamatan Pomalaa, Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara. Jurnal Geologi dan Sumber daya Mineral Vol.20. No.2 Mei 2019 hal 85 – 92.

Arifin, M., Widodo, S., & Anshariah. (2015). Karakteristik Endapan Nikel Laterit pada Blok X PT Bintang Delapan Mineral Kecamatan Bahodopi Kabupaten Morowali Provinsi Sulawesi Tengah. Jurnal Geomine, 1, 35 – 45.

Burger, P.A. (1996). *Origins and Characteristic of Lateric Nickel Deposits. Nickel'96 Seminar Proceedings*, Kalgoorlie.

Butt, Charles R. M., & Dominique Cluzel. (2013). *"Nickel Laterite Ore Deposits: Weathered Serpentinites." Elements* 9(2):123–128.

E. J. W. Whittaker & J. Zussman. (1956). *The Characterization of Serpentine Minerals by X-ray Diffraction Mineralogical Magazine* 1956 31 : 107-126.

Elias, M. (2002). *Nickel Laterite Deposits-Geological Overview. Resources and Exploitation, Centre for Ore Deposit Research, University of Tasmaniah*. 205- 220.

Gill, Robin. (2010). *Igneous Rock and Processes. Department of Earth Sciences Royal Holloway Univesity of London*.

Golightly, J. P. (1981). Nickeliferous Laterite Deposits. *Economic Geology 75th Anniversary,* 710-735.

Haya, A., Conoras, W., & Firman. (2019). Penyebaran Endapan Nikel Laterit Pulau Obi Kabupaten Halmahera Selatan Provinsi Maluku Utara. Journal of Science and Engineering. Universitas Khairun. Ternate.

Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi. (2023). Neraca Sumber Daya dan Cadangan Mineral Batubara dan Panas Bumi Indonesia Tahun 2023. Bandung.

Khadafi, M., Danisworo, C., & Purwanto, S, H. (2013). Potensi Nikel Sulphida Daerah IUP Harita Di Pulau Obi Kabupaten Halmahera Selatan, Provinsi Maluku Utara. Jurnal Ilmiah MTG, Yogyakarta, Vol 6, No 2.

Kurniadi, A., Rosana, F, M., Yuningsih, T, E., & Pambudi, L. (2017). Karakteristik Batuan Asal Pembentukan Endapan Nikel Laterit Di Daerah Madang dan Serakaman Tengah. Padjadjaran Geoscience Journal, 1(2).

Le Bas, M. J., Streckeisen, A. L. (1991). *The IUGS Systematics of Igneous Rocks. Journal of the Geological Society*. London. Vol. 148, 1991, Hal. 825-833.

Letouzey J., de Clarens P., Guinard, J., & Berthon, J. L. (1983). *Structure of the North Banda Mollucca Area From Multichannel Seismic Reflection Data. Procceding 12th Annual Convention of Indonesian Petroleum Association.,* Jakarta.

Lintjewas, L., Setiawan, I., & Kausar, A. Al. (2019). Profil Endapan Nikel Laterit di Daerah Palangga, Provinsi Sulawesi Tenggara. RISET Geologi Dan Pertambangan, 29(1), 91 – 104.

Moorhouse, W.W. (1959). *The Study of Rocks In Thin Section*. Harper and Brothers New York.

Mudd, G. M. (2009). *Nickel sulfide versus laterite : the hard sustainability challenge remains. Proceeding 48th annual comference of metallurgist. Canadian metallurgist society. Sudbury : Ontario.*

Sompotan, A.F. (2012). Struktur Geologi Sulawesi. Institut Teknologi Bandung, Bandung.

Sudana, D., A. Yasin., & K. Sutisna .(1994). Peta Geologi Regional Lembar Pulau Obi, Direktorat Geologi dan Sumber daya Mineral, Departemen Pertambangan Republik Indonesia, Bandung.

Utami, Z, N. (2022). Geologi dan Evolusi Tektonik Berdasarkan Geokimia Unsur pada Mineralisasi Nikel Sulfida PT. Sebuku Iron Lateritic Ores, Provinsi Kalimantan Selatan. Repository Universitas Jambi.

Van Zuidam, R.A., (1985). *"Aerial and Geomorphology Mapping". Smith Publisher The Hague,* ITC.

Vaughan., D. J. & Chorkhill., C. L. (2017). *Mineralogy of Sulfide. Sulfide Mineralogy and Geochemistry. Elements*. Volume 13 : p 81-87.

Waheed, A. (2002). *Nickel Laterites- A Short Course: Chemistry, Mineralogy, and Formation, of Nickel Laterites.* Sorowako: PT International Nickel Indonesia.

Waheed, A. (2008). *Nickel Laterites Fundamentals of Chemistry, Mineralogy, Weathering Processes, Formation, and Exploration.* Sorowako: VALE Inco.

Winter, O.D. (2001). *An Introduction To Igneous And Metamorphic Petrology.* Prentice-Hall Inc. Upper Saddle River, New Jersey 07458.

Buletin Sumber Daya Geologi
Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi,
Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral
Website: https://buletinsdg.geologi.esdm.go.id
ISSN 1907-5367, e-ISSN 2580-1023



GEOLOGY AND STRUCTURAL CONTROL ON MINERALISATION OF THE ARINEM AREA, GARUT, WEST JAVA

GEOLOGI DAN STUDI KONTROL STRUKTUR TERHADAP MINERALISASI DI DAERAH ARINEM, GARUT, JAWA BARAT

Alfend Rudyawan, M. Lugas Sujatmoko, and Yan Rizal
Faculty of Earth Sciences and Technology, Bandung Institute of Technology (ITB), Indonesia

Corresponding author's email: alfend@itb.ac.id
Received: 9 November 2024; Revised: 18 February 2025; Accepted: 25 May 2025
DOI: https://doi.org/10.47599/bsdg.v20i1.518

ABSTRACT

Exploration by PT Aneka Tambang in 1981 identified several promising mineral prospects in West Java, categorized as low- to high-sulfidation epithermal types. One such prospect is the Arinem area in Garut, which became the focus of this study is still an active area for detailed exploration. Spanning 0.46 km², this area is located 45 km from Garut city.

The data used in this research include field data and core samples from seven boreholes provided by PT ANTAM Tbk drilled in 2011. This study aims to understand the geological and hydrothermal alteration processes of the region using field work measurements, petrographic, mineragraphy, and ASD specTERRA

The study area consists of volcanic and volcaniclastic units, intruded by Pyroxene Andesite and Hornblende Andesite, with prominent hydrothermal alteration zones. The geological structures include the Left-Lateral Arinem Fault and the Right-Normal Arinem Fault, both of which control hydrothermal processes. Sulphide minerals such as pyrite, chalcopyrite, galena, and sphalerite were identified, with quartz veins trending north – south. The results suggest that Arinem is a part of an en-echelon structure arrays part of a larger left lateral strike slip system in West Java that cross-cut by the younger NE – SW dextral faults. This provides crucial insight into the geology, subsurface alteration and mineralization distribution, highlighting its significance for ongoing exploration efforts.

Keywords: Arinem, Geology, Hydrothermal Alteration, Structure-control mineralisation

ABSTRAK

Eksplorasi yang dilakukan oleh PT Aneka Tambang pada tahun 1981 berhasil mengidentifikasi beberapa prospek mineral menjanjikan di Jawa Barat, yang dikategorikan sebagai tipe epitermal sulfidasi rendah hingga tinggi. Salah satu prospek tersebut adalah wilayah Arinem di Garut, yang menjadi fokus penelitian ini masih menjadi salah satu area aktif eksplorasi. Wilayah tersebut mencakup area seluas 0,46 km² dan berjarak sekitar 45 km dari Kota Garut.

Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi data lapangan serta sampel inti dari tujuh lubang bor yang disediakan oleh PT ANTAM Tbk yang di bor pada 2011. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memahami proses geologi dan alterasi hidrotermal di wilayah tersebut dengan menggunakan analisis petrografi, mineralografi, dan ASD specTERRA.

Wilayah studi terdiri atas unit vulkanik dan vulkanoklastik yang diintrusi oleh Andesit Piroksen dan Andesit Hornblende, dengan zona alterasi hidrotermal yang menonjol. Struktur geologi yang ada di daerah ini termasuk Sesar Mengiri Arinem dan Sesar Menganan Turun Arinem, yang keduanya mengontrol proses hidrotermal. Mineral-mineral seperti pirit, kalkopirit, galena, dan sfalerit teridentifikasi, dengan urat mineral yang berarah barat laut-tenggara. Hasilnya menunjukkan bahwa Arinem merupakan bagian dari sistem sesar mendatar mengiri besar di Jawa Barat yang menghasilkan struktur en-echelon pada bagian terminasi dari struktur yang dipotong oleh sesar mendatar menganan yang lebih muda. Hal memberikan wawasan penting mengenai alterasi dan distribusi mineralisasi di bawah permukaan, yang menunjukkan signifikansinya untuk upaya eksplorasi yang berkelanjutan.

***Kata kunci**: Alterasi Hidrotermal, Arinem, Geologi, Kontrol Struktur Geologi pada Mineralisasi*

INTRODUCTION

With the increasing demand for metallic minerals in Indonesia, previously underexplored regions such as the Southern Mountains of Java are now being investigated for their mineralization potential. The Southern Mountains, part of the Old Andesite Formation, represent an ancient volcanic arc that holds untapped resources. Several companies, including PT Aneka Tambang, have conducted successful exploration activities in these areas, identifying low- to high-sulfidation epithermal deposits. One such area is Arinem, located in Garut, West Java, which has become the focus of this study. Geochemical analysis of ore minerals shows that gold and silver grades range from trace amounts up to 17.5 g/t Au and over 100 g/t Ag, respectively. Base metal contents vary, with copper up to 0.12%, zinc up to 0.23%, and lead up to 0.16% (Yuningsih et al., 2010).

This study aims to integrate the geological framework of the Arinem area using field geology, petrographic, mineralographic, and ASD specTERRA analyses.

The study area of Arinem is covering 0.46 km² and located 45 km from Garut. The geology comprises of volcanic and volcaniclastic rocks intruded by andesite, and its alteration processes are largely controlled by the region's structural framework (ANTAM, 1993). Understanding these geological processes, especially the structures that control the alteration is essential for targeting potential mineralization zones. A structural model model is particularly useful in visualizing the spatial distribution structure that may influence the alteration process and guiding exploration efforts and aiding in resource estimation.

GEOLOGY OF ARINEM

The Arinem area is located in the transition zone from the Southern Mountains Zone to the Quaternary Volcanic Zone in West Java, specifically within the Old Andesite Formation (Figure 1). This formation, consisting of volcanic and volcaniclastic rocks, represents an ancient volcanic arc that has undergone multiple episodes of volcanic activity and subsequent hydrothermal alteration (Alzwar et al., 1992).

These volcanic and volcaniclastic units are intruded by Pyroxene Andesite (Tpap) and Hornblende Andesite (Tpah), indicating later magmatic activity. The intrusions cut through the older volcanic units, suggesting they are younger and possibly related to the region's mineralization processes (Alzwar et al., 1992; ANTAM, 1993). Stratigraphically, the Andesite Breccia is

the oldest unit, followed by successive tuff and lapilli layers. The Andesite intrusions are interpreted as younger based on their cross-cutting relationships with the surrounding rock units (Alzwar et al., 1992). Similar geological setting for mineralization were also recognized in many parts of western Java region around the Bayah Dome such as Cikotok (Noya et al., 1994), Cibaliung (Widyariestha et al., 2019), and many others.

MATERIALS AND METHODS

The study utilized both field data and core samples from seven boreholes provided by PT ANTAM Tbk. Field mapping was conducted to characterize the surface geology, while petrography and mineragraphy analyses on 8 surface and 9 core samples were performed to identify primary and secondary minerals. Additionally, ASD specTERRA analysis on 9 surface samples was employed to identify alteration minerals, particularly clays. SpecTERRA analyses will employ infrared reflectance and emission of the samples to be compared to USGS mineral database using ENVI and Specmin Pro software.

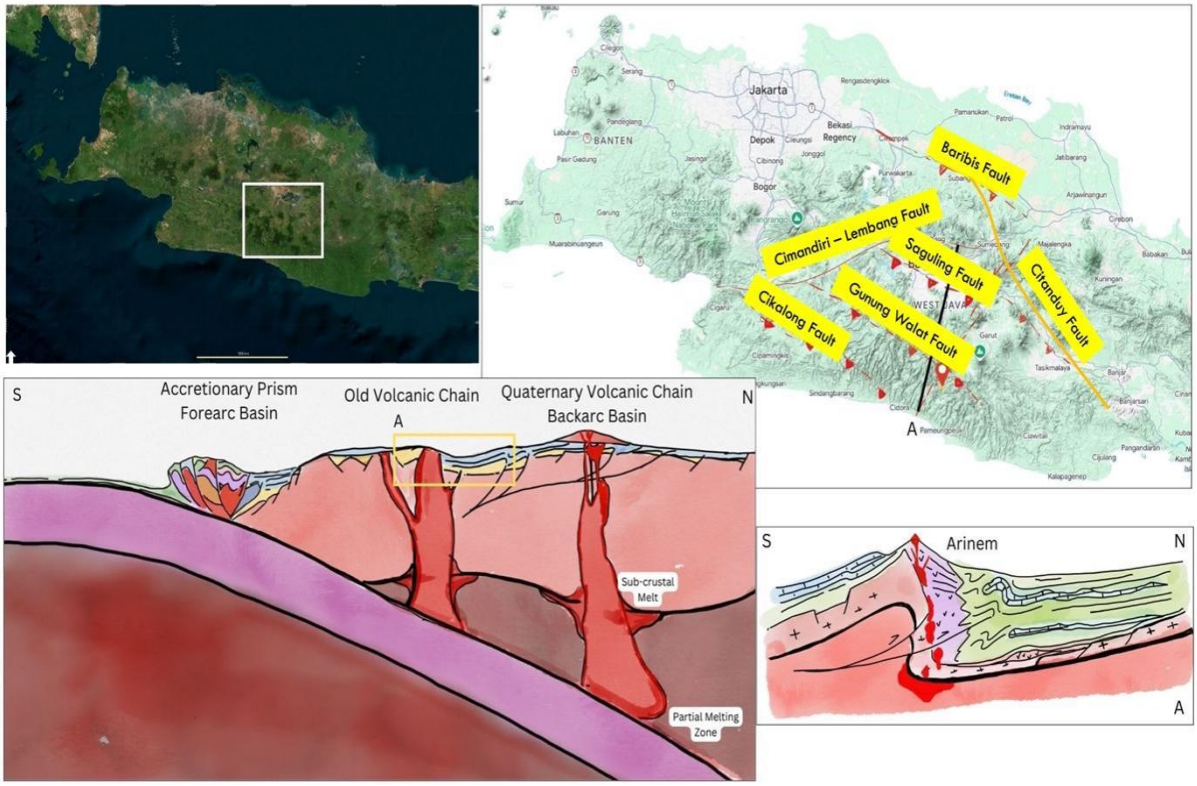


Figure 1. Study area location in Arinem Prospect, near Jatiwangi, Garut Regency. The area belongs in the transition between the Quaternary Volcano and the Southern Mountain Zones where Neogene fold thrust belt (dashed red lines in image on top right; modified from multiple sources (including Pulunggono & Martodjojo (1984); Alzwar et al. (1992); Clements & Hall (2007), Yulianto et al. (2007); van Gorsel (2018); PusGen (2017); Arisbaya et al. (2021)), appear to be intruded by the volcanic complex. Schematic cartoon cross-section from the Java Subduction Zone showing relative position of the Arinem area (A) is redrawn and modified from Pertamina BPPKA (1996). Orange lineament represent the right lateral Citanduy Fault (van Gorsel, 2018)

RESULTS: RECENT FIELD OBSERVATIONS

Based on field mapping and core sample analysis, lithology complexes in the Arinem area consist of several sequences of breccia-tuff, lapilli tuff, and andesite breccias. The Tuff Breccia Unit found in exposed in the northeast corner of the area consists of greenish-gray, well-compacted tuff with calcite veinlets and poorly sorted lapilli- to block-sized fragments. The Lapilli Tuff Unit which dominates the area contains poorly sorted, carbonate-rich lapilli tuff with strong alteration and oxidation. Alzwar et al. (1992) suggest that these two exposed volcanics are of the Early Pliocene age. The Andesite Breccia Unit is exposed to the south of the are and includes andesitic and lithic tuff fragments with open packing, calcite veins, and hematite oxidation, correlated to Late Pliocene volcanism (Alzwar et al., 1992). Lastly, the Andesite Unit found at depth (283–300 m) comprises porphyritic andesite with chlorite-altered plagioclase, quartz veinlets, and a thermal alteration zone, intruded in the Late Pliocene.

Geological Structure

The geological structure of the study area is dominated by two major fault systems:
The Left-Lateral Arinem Fault (N191°E/75°), with slickensides 24° ,N194°E *pitch* 3°) which trends NNE - SSW and cuts across all lithological units (Figure 2 A-B-C).

The Right-Normal Arinem Fault (N163°E/85°)), trending northwest - southeast, which intersects the Left-Lateral Fault (Figure 2 D-E-F). This fault system has played a significant role in controlling hydrothermal fluid flow and the spatial distribution of mineralization. The quartz veins measured in the study area are distributed in a northwest–southeast direction (Figure 2; Map on the right) with an average width of 4 meters. There are two vein sets with different dip directions, oriented at N157–170°E/72–78° and N308–359°E/54–86°.

Antam (1993) recognized three vein zones namely Bantarhuni, Arinem and Halimun. These vein zones are interpreted to be cross-cut by the ENE – WSW local left lateral fault system.

HYDROTHERMAL ALTERATION - MINERALIZATION

Hydrothermal alteration in the Arinem area is controlled by the structural framework, with fluids migrating along fault planes and fractures. Two primary alteration zones were identified through petrographic, ASD specTERRA, and mineralographic analyses:

Chlorite-Smectite-Illite-Calcite Zone

This zone occupies about 80% of the study area and is primarily located in the northeastern and southwestern parts. The rocks in this zone exhibit moderate to intense alteration, characterized by a greenish coloration due to the presence of chlorite. Other secondary minerals include smectite, illite, and calcite, with traces of sericite and epidote. The presence of calcite veins, up to 3 cm thick, indicates carbonate precipitation from hydrothermal fluids. Additionally, oxidation has resulted in the formation of goethite, limonite, and hematite in certain areas.

Kaolinite-Illite-Smectite Zone

This zone covers approximately 20% of the study area, trending along the northwest-southeast fault line. It is characterized by intense oxidation and weathering, with altered rocks displaying white to reddish-brown colors. Kaolinite, illite, and smectite are the dominant minerals in this zone, indicative of lower-temperature hydrothermal alteration. The formation temperature of minerals in this zone, as determined by the Kingston Morrison Ltd. (1997) diagram, ranges from 140°C to 260°C. These temperatures are consistent with low-sulfidation epithermal systems.

Both alteration zones indicate hydrothermal activity within the epithermal range, with near-neutral ph conditions facilitating the formation of clay and quartz minerals (Pirajno, 1992, White and Hedenquist,

1995; Lawless et al., 1998; Pirajno, 2009; Yuningsih, 2011).

The stratigraphic relationships between these units are clearly shown, with the andesite intrusions cutting through the older breccia and tuff layers. The model also depicts the orientation and extent of the major fault systems, which control the distribution of hydrothermal fluids.

The Left-Lateral Arinem Fault and Right-Normal Arinem Fault are key structural features in the model, guiding the movement of mineralizing fluids and influencing the formation of alteration zones (Figure 2). The Kaolinite-Illite-Smectite Zone is concentrated along the northwest-southeast fault trend, represented by the occurrence of N-S trending veins (Map in Figure 2), while the Chlorite-Smectite-Illite-Calcite Zone is more widely distributed across the area.

The observed quartz veins (Map in Figure 2), with their crustiform and colloform textures (Figure 3 a – c), are indicative of episodic fluid flow and boiling within the hydrothermal system (Morisson et al., 1990). Calcopyrite, pyrite, galena and sphalerite (Figure 3 d – e) are a result of such boiling process. The presence of alteration minerals such as chlorite, illite, kaolinite, and calcite (Figure 3 f) reflects moderate hydrothermal temperatures (140°C to 260°C) and neutral pH conditions (Morrison, 1997), which are typical of such systems (Corbett and Leach, 1997; Figure 3 g-h).

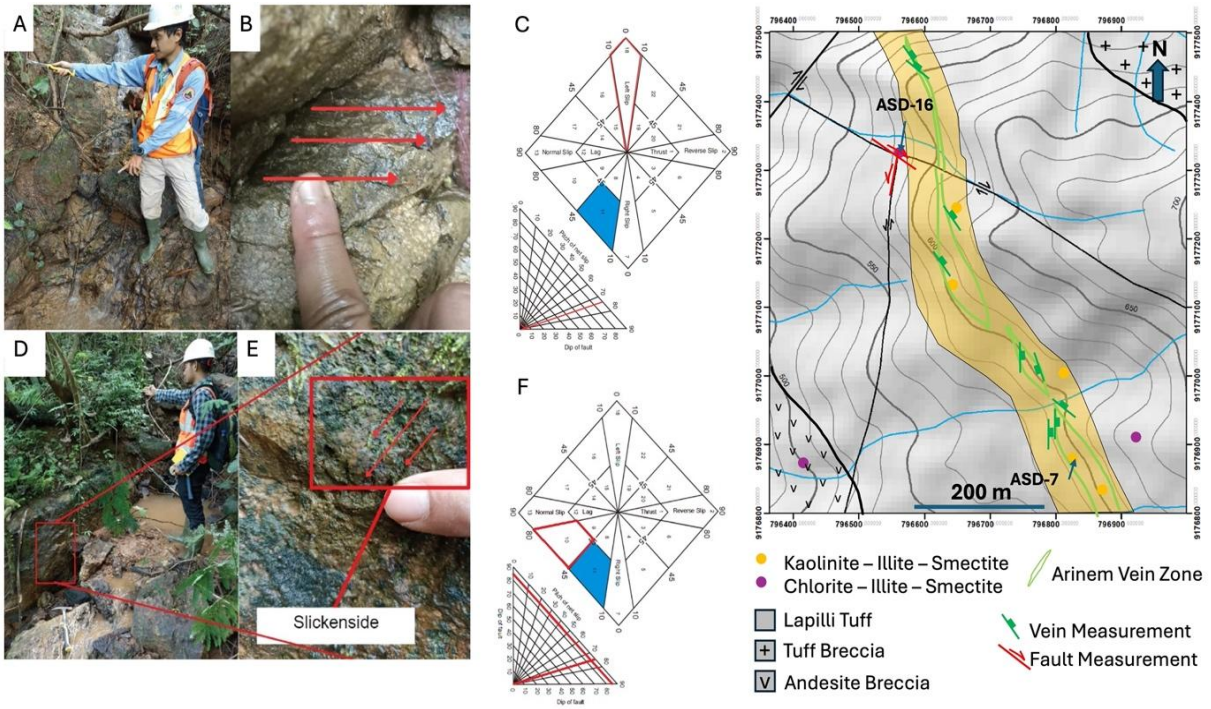


Figure 2. Structural measurements in the Arinem Area. A-B are the North – South trending left lateral Arinem Fault with left lateral fault analyses (C); D-E are the slickenside observed on Northwest – Southeast trending right normal Arinem Fault, analyses shown in F. The map on the right shows the observation location including for alteration and structural observation as well as ASD sample location for Figure 3. Transparent orange area on the map showing the Kaolinite –Illite – Smectite – Calcite alteration zone. Outside the orange the alteration is dominated by Chlorite – Illite – Smectite minerals. Lithology are shown by symbols.

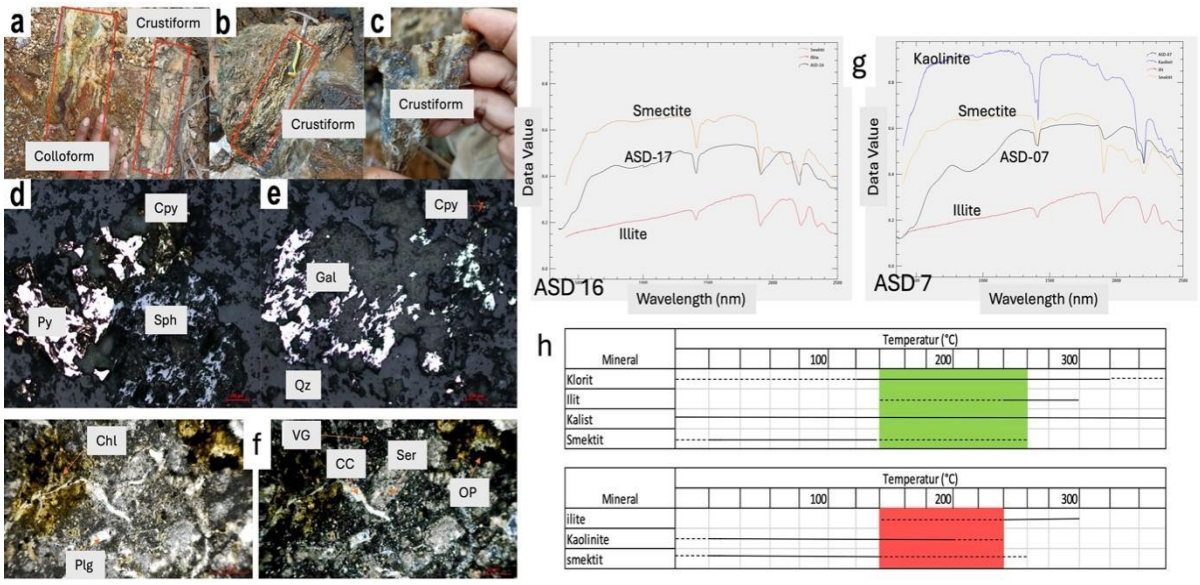


Figure 3. (a – c) crustiform and colloform texture of the quartz veins in the Arinem Veins Zone; (d – e) sphalerite, chalcopyrite, pyrite and galena from the photomicrograph; (f) thin section of the altered volcanics showing chlorite, sericite, calcite and opaque minerals replacing primary minerals; (g) ASD results from sample ASD 16, ASD 7 (location in Figure 2) confirms the occurrence of two alteration facies (Chlorite – Smectite – Illite and Kaolinite – Illite – Smectite); (h) Alteration temperature interpretation from both system.

DISCUSSION

The hydrothermal alteration and mineralization processes in the Arinem area are consistent with those found in low-sulfidation epithermal system. Along the fault-controlled pathways, the alteration zone is more concentrated. Quartz textures observed in the Arinem Vein Zone further support the interpretation of an episodic boiling process, which is a key characteristic of low-sulfidation systems. Such textures suggest periodic increases in fluid pressure, likely caused by tectonic stress or fault movement, which intermittently closed and opened fluid pathways, allowing for repeated mineral deposition. Our recent observation align with the typical setting of low suphidation epithermal system that occured in Arinem area as reported by Yuningsih and Matsuda (2014), Yuningsih (2019) and Purwanto et al. (2019).

The spatial distribution of alteration zones, particularly the alignment of the Kaolinite-Illite-Smectite Zone along the relatively N-S trending vein complexes known as the Arinem Veins (Figure 2), suggests that mineralization is structurally controlled. This understanding is crucial for future exploration efforts, as it provides insights into where high-grade mineralization may be concentrated. The intersection of these faults created areas of increased permeability, allowing for the concentration of mineralization.

Surface geology combined with geomorphological observation indicates that Arinem area is located within the right lateral fault system that deformed the southern coastline of Garut extending far to the northeast region as far as Sumedang. This fault system is interpreted to have caused the recent M 4.9 earthquake in southern Java, known as the Garsela Fault that is interpreted to have oblique slip movement (BMKG, 2024). Recent earthquakes relocation studies carried out by Supendi et al (2019) indicating a predominantly NE-SW strike slip faulting in the southern region of Garut. This is broadly similar to the result from geological mapping in this study.

Our observation agrees with the regional structural interpretation. However, it appears that this oblique right lateral fault diverge into a roughly 15 km wide relay zone. Subtle depression to the east of the study area suggest relay ramp between the right lateral Arinem Fault and another fault zone to the east of it. To the north of the area, near Mnt. Guntur similar depression feature also exist and appear to be intruded by volcanic product (Figure 4A).

The N – S trending vein complex in Arinem were formed limited near the Talagawangi Depression, interpreted as a relay zone, between two strike slip. However, the general trends of the vein complexes are N – S which will be less likely to have resulted from the recent NE – SW trending dextral fault system that deformed the southern coast of Garut. Therefore, the vein complexes are interpreted to be developed by a more regional NE – SW sinistral strike slip faults similar- or parallel- to Cimandiri Faults, or alternatively the elusive NW – SE right lateral Citanduy Fault (van Gorsel, 2018). It also important to note that the N – S trending structural lineaments were identified to be prominent in West Java represented by sedimentary basin formation in the Cenozoic as proposed by Clements and Hall (2007) suggesting a role of basement fabric that could influence the younger structures.

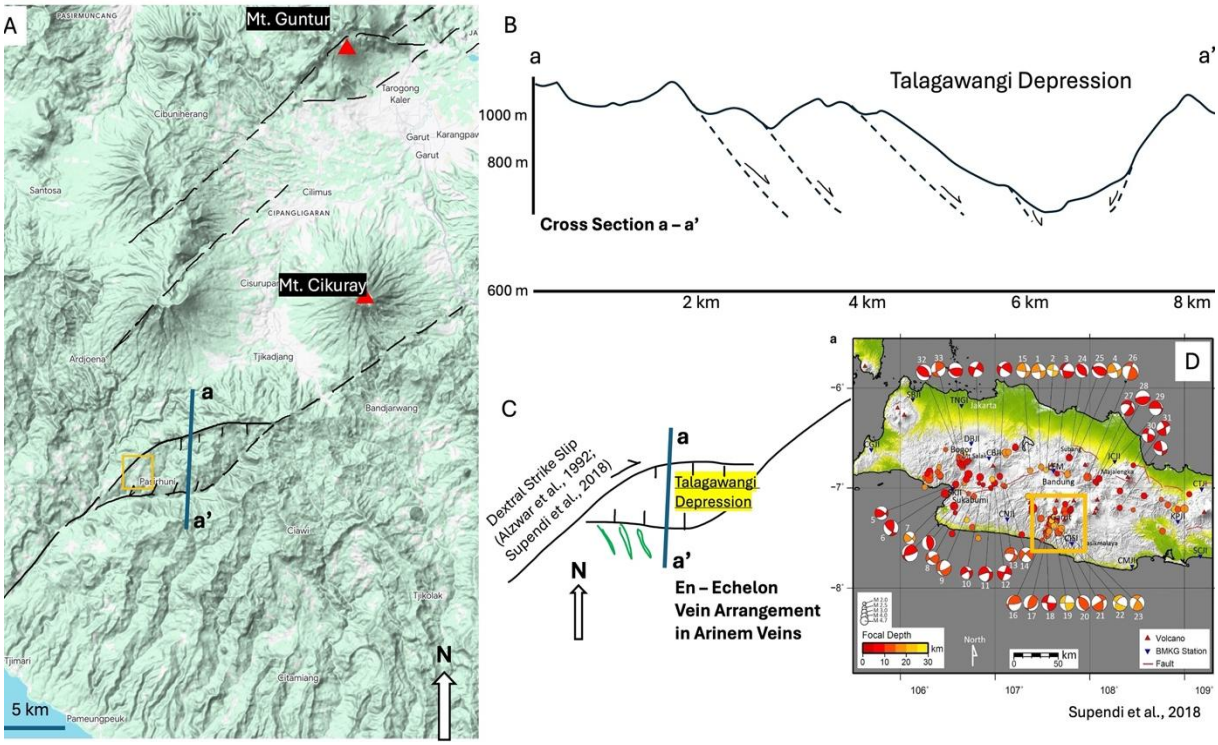


Figure 4. Map on the left (A) depicted the recent right lateral faults correspond to the recent earthquake occurred in southern Java shown in map (D) on the bottom right by Supendi et al. (2018). Topographical cross-section a – a' (B) showing a 6 km wide depression, here named Talagawangi Depression, is interpreted to be caused by the overlap between two dextral strike slips (C). These NE – SW trending right lateral strike slip faults are less likely to create N – S veins system in Arinem. Therefore the Arinem Veins zone is interpreted to formed earlier or alternatively formed limited in the Talagawangi Depression as a result of the relay zone.

CONCLUSIONS

The geological characteristics observed in the Arinem area strongly support its classification as a low-sulfidation epithermal system. The hydrothermal alteration minerals, including chlorite, illite, kaolinite, and calcite, along with moderate temperature indicators, align well with the conditions typical of these systems, demonstrating that mineralization occurred under neutral pH and moderate thermal environments. The textures within the quartz veins, specifically the crustiform and colloform structures, indicate episodic boiling events, which are characteristic of low-sulfidation systems and suggest repeated cycles of fluid pressure increase, likely influenced by tectonic activity along fault-controlled pathways.

The structural analysis of the region reveals that mineralization in the Arinem area is heavily influenced by structural controls, particularly along the N-S trending vein complexes in the Kaolinite-Illite-Smectite Zone, as seen in the alignment of the Arinem Veins. This structural alignment underscores the importance of fault intersections in creating zones of increased permeability, which in turn facilitated the accumulation of hydrothermal fluids and, consequently, mineral deposits. The presence of such faults, including the significant Garsela Fault and potentially oblique relay ramps, highlights the tectonic complexity influencing the area's mineralization.

Further supporting this, regional fault systems like the NE-SW trending Cimandiri and some that are parallel in movement to it as well as the NW-SE trending Citanduy Faults appear to play a role in the broader structural development of the area. Although the recent dextral faulting along the southern coast of Garut does not directly align with the N-S trending vein complexes, it suggests that the mineralization and structural configuration of the Arinem area are products of a larger, possibly intersecting, regional fault network. This structural understanding offers valuable insight into potential high-grade mineralization zones for future exploration.

ACKNOWLEDGEMENTS

Authors would like to thank PT Aneka Tambang for the data used in the paper. The paper is supported by a PPMI Riset KK dan PPMI Kolaborasi grant 2024 from the Faculty of Earth Sciences and Technology – Institut Teknologi Bandung.

REFERENCES

Alzwar, M., Akbar, N., and Bachri, S. (1992): Peta Geologi Lembar Garut dan Pameungpeuk, Jawa, (Geological Map of Garut and Pameungpeuk Sheet, Java) skala 1: 100.000, Puslitbang Geologi, Bandung.

Antam (1993) Gold-silver deposit exploration report DMP, Mt. Papandayan area, Garut Regency, West Java Province (KP.DDU. 866/Jabar). Unpublished Report (in 78 Proceedings of 4th Asia Africa Mineral Resources Conference – 13 to 16 October 2014, Algiers-AlgeriaIndonesian), 68p

Arisbaya, I., Lestiana, H., Mukti, M. M., Handayani, L., Grandis, H., Warsa, Sumintadireja, P. (2021) Garsela Fault and other NE-SW active faults along the southern part of Java Island, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 789 (2021) 012065, IOP Publishing, https://doi.org/10.1088/1755-1315/789/1/012065

Clements, B., & Hall, R. (2007): Cretaceous to Late Miocene Stratigraphic and Tectonic Evolution Of West Java.

Corbett, G. J., dan Leach, T. M. (1998): *Southwest Pacific Rim gold-copper systems: structure, alteration, and mineralization*, Society of Economic Geologists.

https://prosesweb.bmkg.go.id/wp-content/uploads/Ulasan-Guncangan-Tanah-Gempabumi-Bandung-18-September-2024-M-4.9.pdf

(Accessed on 4th of November, 2024).
Lawless, J. V., White, P. J., Bogie, I., Paterson, L. A., & Cartwright, A. J. (1998): Hydrothermal Models. Mineral Deposits in The Arc Setting: Exploration Based on Mineralization Service. Kingston Morrison Mineral.
Martodjojo, S. (1984): Evolusi Cekungan Bogor (Bogor Basin Evolution), Disertasi (Dissertation), Graduate Program, Institut Teknologi Bandung, *Unpublished*.
Morisson, G., Guoyi, D., dan Jareith, S. (1990): Textural Zoning in Epithermal Quartz Vein, *Amira Project P*, 247, 33.
Morrison, K. (1997): Important hydrothermal minerals and their significance. Geothermal and mineral Service Division, 7.
Noya, Y., Sukarna, D., Andi Mangga, S. (1994) The Nature of Mineralisation at the Cikotok Area, West Java. *Proceeding* Ikatan Ahli Geologi Indonesia, 23rd Scientific Meeting
Pertamina BPPKA (1996) Petroleum geology of Indonesian basins: principles, methods, and application.
Pirajno, F. (1992): Hydrothermal alteration. Hydrothermal Mineral Deposits: Principles and Fundamental Concepts for the Exploration Geologist, 101-155.
Pirajno, F. (2009): Hydrothermal processes and wall rock alteration. Hydrothermal processes and mineral systems, 73-164.
Pulunggono, A. & Martodjojo, S. (1994): Perubahan Tektonik Paleogen–Neogen Merupakan Peristiwa Tektonik Terpenting di Jawa (Significant Tectonic Paleogene Events in Java): *Proceeding* Geologi dan Geoteknik Pulau Jawa Percetakan Nafiri, Yogyakarta.
Purwanto, S. P., Harjanto, A., Rizkianto, Y., Fatchurohman, D. (2019): Tipe Deposit dan Mineralisasi Emas Daerah Arinem dan Sekitarnya, Kabupaten Garut, Jawa Barat (Gold Mineralisation and Deposits Type in Arinem and surrounding area, Garut, West Jawa), *Proceeding* SNCPP 2019 "Pengembangan Ristek dan Pengabdian Menuju Hilirisasi Industri" LPPM UPN "Veteran" Yogyakarta Yogyakarta, 16 – 17 Oktober 2019.
Supendi, P., Nugraha, A. D., Puspito, N. T., Widiyantoro, S., Daryono (2018) Identification of active faults in West Java, Indonesia, based on earthquake hypocenter determination, relocation, and focal mechanism analysis, Geoscience Letter 5:31, https://doi.org/10.1186/s40562-018-0130-y.
Tim Pusat Studi Gempa Nasional (2017) Peta Sumber Dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017, Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Map of Earthquake Sources and Hazards in Indonesia in 2017, Center for Housing and Settlement Research and Development, Research and Development Agency, Ministry of Public Works and Public Housing), ISBN 978-602-5489-01-3.
White, N. C., dan Hedenquist, J. W. (1995): Epithermal gold deposits: styles, characteristics and exploration, SEG newsletter, (23), 1–13.
Wibowo, E. P. W. (2017) : Geologi dan alterasi hidrotermal daerah arinem dan sekitarnya, kabupaten Garut, Jawa Barat (,Geology and hydrothermal alteration of the Arinem area and its surroundings, Garut Regency, West Jawa), ITB Digital Library.
Widyariestha, M., Rosana, M.F., Haryanto, I., Kurniawan, A. (2019) Mineralization Characteristics Of Kiarapayung, Cibaliung District, Pandeglang, Banten, Journal Of Geological Sciences And Applied Geology Vol. 3 No. 1 April 2019.
Yulianto, I., Hall, R., Clements, B., & Elders, C. R. (2007): Structural and Stratigraphic Evolution of The

Offshore Malingping Block, West Java, Indonesia. Proc. 31st Ann. Conv. IPA, Jakarta, Indonesia.

Yuningsih, E. T., (2011) Compositional Variation of Au-Ag Telluride Minerals of Arinem Deposits, West Java. JSDG Vol. 21 No. 3.

Yuningsih, E. T., Matsueda, H. (2014) Mineralogical and Geochemical Signatures of Gold-Silver-Base Metal, Mineralization in Bantarhuni Vein of Arinem Deposit, Western Java, Indonesia, Proceedings of 4th Asia Africa Mineral Resources Conference – 13 to 16 October 2014, Algiers-Algeria.

Yuningsih, E. T., Matsueda, H., Setyaraharja, E. P., Rosana, M. F. (2010): Arinem Gold And Basemetal Mineralization West Java – Indonesia, Proceedings Pit Iagi Lombok 2010, The 39th IAGI Annual Convention and Exhibition.

Buletin Sumber Daya Geologi
Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi,
Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral
Website: https://buletinsdg.geologi.esdm.go.id
ISSN 1907-5367, e-ISSN 2580-1023



DELINEASI PROSPEK PANAS BUMI DI KAWASAN WISATA AIR PUTIH KABUPATEN LEBONG BENGKULU MENGGUNAKAN METODE MAGNETOTELURIK

GEOTHERMAL PROSPECT DELINEATION STUDY IN AIR PUTIH TOURISM AREA LEBONG DISTRICT BENGKULU USING MAGNETOTELLURIC METHOD

Della Zakia Soleha, Andre Rahmat Al Ansory, Basdiki Hasugian, Hana Raihana, Muchamad Farid, Refrizon, Rina Maesaroh, Meno Hardianza, dan Jessica Agnes Soroinama Gea
Program Studi Geofisika, Jurusan Fisika, Universitas Bengkulu

Email korespondensi: mfarid@unib.ac.id
Diterima: 15 Juli 2024; Direvisi: 20 Agustus 2024; Disetujui: 30 Mei 2025
DOI: https://doi.org/10.47599/bsdg.v20i1.488

ABSTRAK
Panas bumi merupakan energi yang terbarukan dan dapat digunakan sebagai cadangan energi di masa mendatang. Riset ini bertujuan menentukan lokasi yang memiliki potensi panas bumi yang ada di kawasan Wisata Air Putih, Kabupaten Lebong, Provinsi Bengkulu berdasarkan nilai resistivitas dengan menggunakan metode magnetotelurik. Nilai resistivitas yang didapatkan bervariasi dari rendah, sedang, dan tinggi yang dapat digunakan sebagai acuan untuk menggambarkan kondisi di bawah permukaan. Pada akuisisi data ini, pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat Magnetotelurik ADU-07e yang memiliki waktu pengukuran selama 16 jam dengan bandwidth frekuensi rendah 128 Hz, bandwidth frekuensi sedang 1024 Hz, dan bandwidth frekuensi tinggi 4096 Hz. Sensor pada perekaman memiliki dua sensor: sensor magnetik dan sensor elektrik. Sensor magnetik terdiri dari 3 buah sensor/coil (Hx, Hy, dan Hz), sedangkan untuk sensor elektrik menggunakan 4 poros pot yang diletakkan secara orthogonal (Ex dan Ey). Berdasarkan hasil pengolahan data menggunakan metode Magnetotelurik dengan software ZondMT, terdapat rentang nilai resistivitas 10-700 (Ωm) yang memberikan informasi struktur lapisan bawah permukaan. Lapisan dengan resistivitas rendah (18-30 Ωm), resistivitas sedang (40-160 Ωm) dan resistivitas tertinggi (>300 Ωm).

Kata kunci: Panas bumi, Magnetotelurik, Resistivitas, ZondMT, Air Putih

ABSTRACT
Geothermal energy is renewable and can be used as an energy reserve in the future. This research aims to determine locations that have geothermal potential in the Air Putih Tourism area, Lebong Regency, Bengkulu Province based on resistivity values using the magnetoteluric method. The resistivity values obtained vary from low, medium, and high which can be used as a reference to describe subsurface conditions. In this data acquisition, measurements were made using the ADU-07e Magnetotelurik tool which has a measurement time of 16 hours with a low frequency bandwidth of 128 Hz, a medium frequency bandwidth of 1024 Hz, and a high frequency bandwidth of 4096 Hz. The sensor in the recording has two sensors: a magnetic sensor and an electrical sensor. The magnetic sensor consists of 3 sensors/coils (Hx, Hy, and Hz), while the electrical sensor uses 4 orthogonally placed pot

shafts (Ex and Ey). Based on the results of data processing using the Magnetoteluric method with ZondMT software, there is a range of resistivity values of 10-700 (Ωm) which provides information on the structure of the subsurface layer. Layers with low resistivity (18-30 Ωm), medium resistivity (40-160 Ωm) and the highest resistivity (>300 Ωm).

***Keywords**: Geothermal, Magnetotelluric, Resistivity, ZondMT, Air Putih*

PENDAHULUAN

Provinsi Bengkulu terletak di kawasan sesar Sumatera, terdapat tiga jalur sesar di Bengkulu yang disebut dengan segmen. Sesar Sumatera terbentang sepanjang pegunungan bukit barisan dari Aceh sampai Teluk Semangko, provinsi Lampung. Segmen sesar yang berada di daerah Bengkulu yaitu segmen Mussi, Manna, dan Ketaun. Segmen Ketaun patahannya terbentang dari Ketaun, Lebong, Tes hingga Muaraaman dengan panjang patahan sebesar 85 kilometer dan lebar 20 kilometer (Supartoyo *dkk*. 2018).

Kabupaten Lebong menjadi salah satu kawasan yang terletak di Provinsi Bengkulu yang dilewati oleh sesar Segmen Ketaun. Sumber daya energi panas bumi di Kabupaten Lebong berkisar 600 MW_e (Al Ansory *dkk.* 2023). Salah satu potensi panas bumi terdapat di Daerah Tambang Sawah. Daerah potensi ini dilewati zona sesar segmen ini memiliki sesar dekstral yang terletak sepanjang utara hingga selatan Pulau Sumatera dan memiliki struktur morfologi yang khas di sekitar zona sesar (Mukazairo *dkk*. 2020).

Sistem panas bumi memiliki elemen utama seperti sumber panas, reservoir, batuan penudung, dan fluida pembawa panas (Murdani, 2017). Sumber panas bumi bersumber dari magma di inti bumi yang aktif mentransfer panas pada batuan di sekitarnya. Proses transfer panas ini juga menyebabkan fluida hidrotermal didalam pori-pori batuan ikut menjadi panas. Fluida hidrotermal yang mengalami pemanasan akan memiliki temperatur dan tekanan yang tinggi, sehingga akan menekan keluar permukaan. Batuan penudung yang merupakan lapisan impermeabel akan menghalangi fluida keluar ke permukaan (Syahwanti *dkk*. 2017). Air serta uap panas yang terperangkap ini disebut dengan reservoir, yang dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif menjadi pengganti energi hasil bahan bakar fosil yang bermanfaat sebagai pembangkit listrik maupun transportasi (Harahap *dkk.* 2022).

Manifestasi permukaan merupakan ciri-ciri alam yang terlihat di permukaan sebagai pertanda bahwa ada aktivitas di bawah tanah. Manifestasi bawah permukaan ini ditunjukkan dengan adanya *hot spring* (mata air panas)*,* fumarol (uap air panas)*, ground warm* (tanah hangat)*, dan solfatara* (gas belerang)*. Solfatara* (gas belerang) membentuk warna kuning di udara disebabkan oleh adanya akumulasi kristal sulfur (belerang) karena proses pendinginan ketika uap panas keluar dari rekahan atau lubang yang bertemu dengan udara yang lebih dingin dibandingkan temperatur permukaan tanah (Firdaus *dkk*. 2014).

Tempat dengan ciri berupa manifestasi *hot spring* ini terletak di Provinsi Bengkulu, tepatnya di Kabupaten Lebong. Beberapa *hot spring* yang muncul di beberapa lokasi menjadikannya kawasan wisata air panas (Lestari, Kusmono dan Sukaman 2022).

Menurut Raihana *dkk.* (2023) berdasarkan dari pengukuran data lapangan menggunakan metode geolistrik, diidentifikasi di kawasan penelitian terdapat zona *alterasi* yaitu *potasik, profilit*, dan *silikat*. Struktur batuan yang mengontrol di kawasan hidrotermal ini adalah kerikil berpasir, breksi vulkanik, tufa, andesit, basal dan pasir basal-andesit, pasir berlanau, dan lempung atau batuan berasal dari magma yang bersifat asam.
Salah satu teknik geofisika untuk mengidentifikasi struktur sistem di bawah muka bumi di wilayah panas bumi tersebut ialah metode Magnetotelurik. Salah satu

keunggulan metode Magnetotelurik adalah kemampuan untuk mengidentifikasi lapisan bawah permukaan pada kedalaman >8.000 m, dimana magma yang merupakan *heat sources* dari sistem panas bumi, dapat ditemukan (Wulandari *dkk*. 2017).

Metode Magnetotelurik merupakan suatu metode pasif yang menggunakan interaksi gelombang Elektromagnetik untuk interpretasi sebaran sifat kelistrikan batuan bawah permukaan (Al Ansory *dkk.*, 2023). Metode ini bertujuan untuk memberikan gambaran batuan di kawasan Wisata Air Putih, Kabupaten Lebong, Bengkulu dengan inversi magnetotelurik melalui inversi pemodelan 2D.

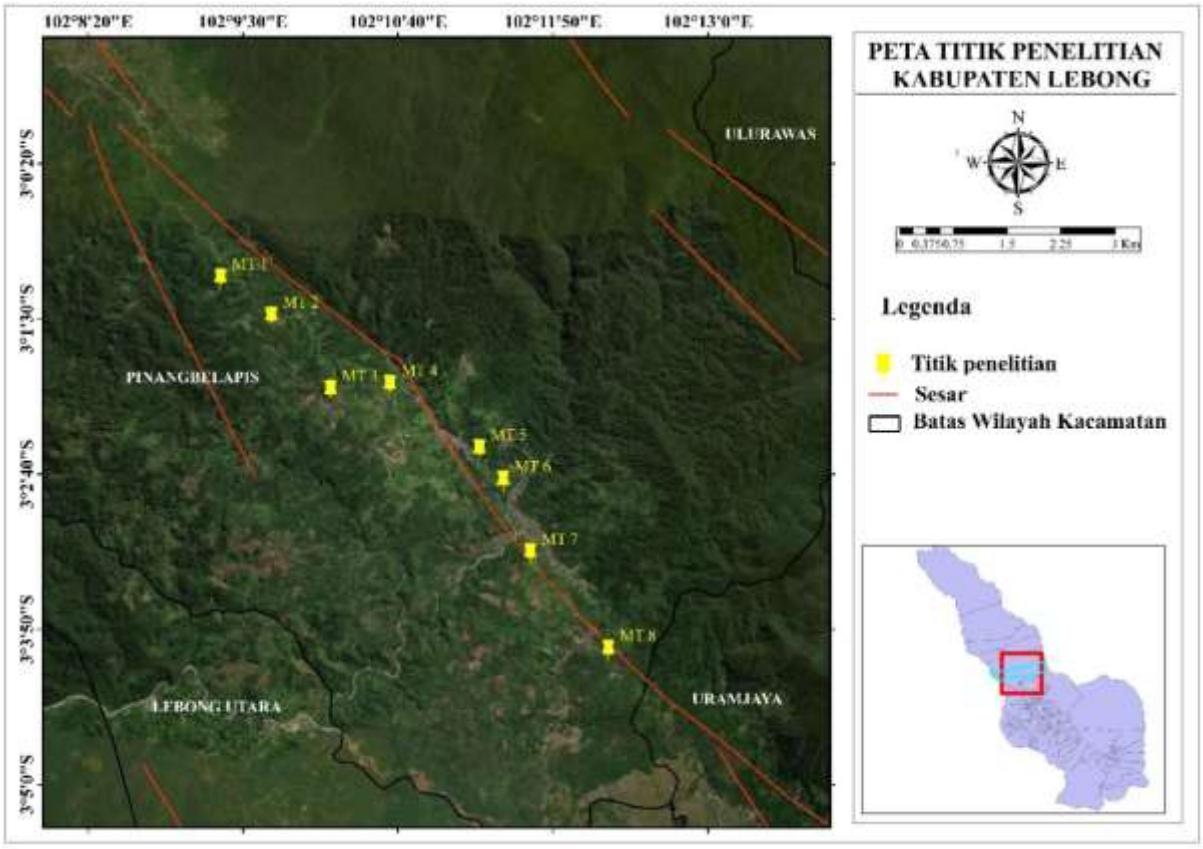
METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode magnetotelurik. Lokasi penelitian berada di sekitar Kawasan Wisata Air Putih, Kecamatan Tambang Sawah, Kabupaten Lebong. Pengukuran dilakukan di 8 titik lokasi pengukuran.

Metode Magnetotelurik Merupakan suatu metoda Elektromagnetik menggunakan teknik *sounding* untuk melihat nilai resistivitas yang direkonstruksi dengan pemodelan 2D untuk mengetahui struktur bawah permukaan (Margareth, 2017). Gelombang elektromagnetik yang menginduksi ke dalam permukaan bumi diperoleh dengan meningkatkan periode (T) ketika *sounding*. Konsep ini sesuai dengan persamaan *skin depth* yang menghitung penetrasi gelombang Elektromagnetik ketika berdifusi kedalam batuan.

$$\delta \approx 503 \sqrt{(\rho/f)} \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

Dimana δ merupakan *skin depth*, ρ merupakan resistivitas, f merupakan frekuensi (Grandis, 2013).



Gambar 1. Peta Sebaran Titik Penelitian Magnetotelurik

Metode ini mengukur komponen medan elektrik (E) dan medan magnetik (B) secara *orthogonal*. Pada akuisisi data Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat Magnetotelurik ADU-07e. Waktu akuisisi data berlangsung hingga 16 jam untuk menjangkau kedalaman sampai dengan ribuan meter dengan rentang frekuensi dari 1 Hz-10.000 Hz. Proses pengukuran dilakukan dengan frekuensi rendah sebesar 128 Hz, frekuensi sedang sebesar 1024 Hz, dan frekuensi tinggi sebesar 4096 Hz . Pada frekuensi yang rendah penetrasi kedalamannya mampu menembus lapisan yang lebih dalam sedangkan frekuensi tinggi bertugas untuk memberikan informasi detail lebih pada lapisan permukaan. Bentangan penelitian dari titik pertama hingga ke titik delapan berarah baratlaut-tenggara. Sensor pada perekaman memiliki dua sensor : sensor magnetik dan sensor elektrik. Pada sensor magnetik terdiri dari tiga buah sensor/coil (Hx, Hy, dan Hz) dan dua sensor ditempatkan secara mendatar dan satu sensor secara ortoghonal. Sedangkan untuk sensor elektrik menggunakan empat poros pot yang diletakan secara orthogonal (Ex dan Ey). Setiap sensor dihubungkan dengan kabel konektor yang menghubungkan tiga koil dengan empat buah poros pot ke alat magnetotelurik ADU-07e.

Data yang diperoleh dari hasil akuisisi belum menunjukkan variasi nilai resistivitas melainkan masih berbentuk data mentah yaitu *time series*. Data *time series* kemudian diolah menggunakan program *software mapros*, dengan menyeleksi data *time series* sehingga di dapatkanlah data *time series* yang terbaik. Proses selanjutnya yaitu dengan melakukan koreksi *phase on*, koreksi ini dilakukan untuk menghilangkan data yang tidak diinginkan *(noise)* akibat adanya perbedaan data lokal di dekat permukaan dengan efek topografinya. Kemudian setelah itu dilakukannya *transformasi fourier* data. Pada proses transformasi ini data *time series* diubah kedalam bentuk domain frekuensi sehingga terlihat persebaran resistivitasnya untuk mengetahui komponen sistem panas bumi. Hasil dari pengolahan di mapros ialah data berupa file edi yang akan diinversi untuk mendapatkan variasi nilai resistivitasnya. Data file edi yang tersimpan diolah menggunakan *software ZONDMT*.

Pemodelan inversi 1D merupakan teknik untuk mengetahui variasi tahanan jenis terhadap kedalaman. Pada pengolahan data inversi 1D data format *edi.file* diolah pada *software ZondMT1D* untuk mendapatkan model resistivitas (Ω.m) dan kedalaman Z (m). Penampang inversi 1D hanya menginterpretasi kasar persebaran resistivitas dengan batas yang masih belum sempurna dan akurat (Zarkasyi, 2019). Pada pemodelan 1D proses inversi disesuaikan dari hasil kurva respon hingga mendekati kurva data. Kedalaman pada hasil model dibatasi hingga 5 km. Pada pemodelan dengan inversi 2D, kondisi bawah permukaan dapat digambarkan secara lebih realistis. Dalam model ini, resistivitas bervariasi pada kedalaman (z) dan jarak dalam arah profil atau penampang (y). Model bawah permukaan dalam pemodelan 2D terdiri dari blok-blok berukuran berbeda. Nilai resistivitas dari setiap blok memiliki dimensi vertikal (z) dan lateral (x).

GEOLOGI LOKAL

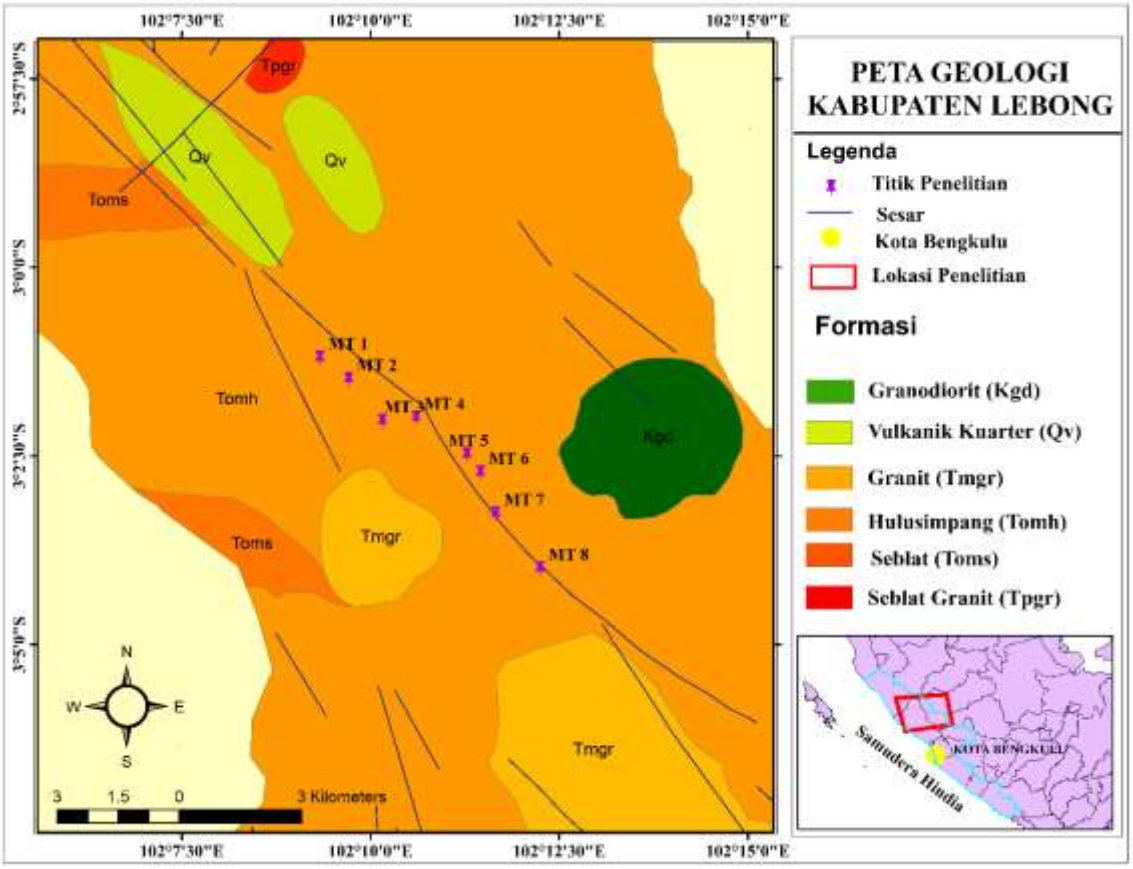
Berdasarkan morfologi kawasan Bengkulu terdiri oleh Cekungan Bengkulu dan Pegunungan Bukit Barisan yang berada di sepanjang Sumatera bagian barat (Indarto *dkk.*, 2007). Satuan batuan yang menjadi penyusun cekungan Bengkulu yaitu satuan Lemau, Seblat, Simpangaur, Bintunan serta satuan Bukit Barisan tersusun atas satuan Hulusimpang, satuan Bal, satuan Ranau (Heryanto, 2006). Batuan tertua yang terekspos adalah Formasi Hulusimpang tersusun atas (breksi vulkanik lava, dan tuff dengan mineralisasi sulfida dan urat kuarsa). Batuan terobosan dalam berumur Miosen Tengah yang tersusun atas granit dan diorit menerobos Formasi Hulusimpang dengan Formasi Seblat. Formasi Seblat tersusun dari: satuan batuan sedimen yang terbentuk dari

endapan di cekungan Bengkulu, formasi ini berumur Miosen Bawah Tengah (Kusnama *dkk.,* 1993). Struktur yang berkembang berupa sesar mendatar (sesar air putih, ketaun) akibat kegiatan tektonik terakhir sekitar *Plio-Pleiston.*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Distribusi resistivitas pada lapangan panas bumi dengan entalpi tinggi umumnya dipengaruhi oleh keberadaan mineral lempung, suhu, serta karakteristik litologi dari endapan gunungapi. Dalam penelitian ini, hasil analisis menunjukkan bahwa potensi panas bumi yang teridentifikasi berasal dari sistem vulkanik Gunungapi Hululais, yang memiliki kondisi geologi dan hidrotermal mendukung untuk pembentukan sumber panas bumi.

Hasil pemodelan 1D ini bertujuan untuk menganalisis nilai impedansi yang diestimasi menggunakan metode kuadrat terkecil dalam pengolahan data Magnetotellurik (MT). Salah satu aspek utama yang diamati adalah hubungan antara resistivitas dan kedalaman, yang divisualisasikan dalam bentuk grafik resistivitas terhadap kedalaman. Grafik tersebut menunjukkan bahwa hasil inversi dari data MT pada model 1 lapisan pertama untuk kedalaman 100 m nilai resistivitas 85,29 Ωm yang naik ke 127,79 Ωm pada lapisan kedua dengan kedalaman 200 m, pada lapisan ketiga nilai resistivitasnya menurun sebesar 1,,29 Ωm dengan kedalaman 3600 m. Apabila dilihat dari RMS error menunjukkan nilai yang cukup kecil sebesar 12,1% pada iterasi ke 6. Untuk hasil inversi pada model 2 untuk lapisan pertama nilai resistivitas 132,29 Ωm pada kedalaman 100 m, kemudian menurun ke 1,12 Ωm untuk lapisan kedua dengan kedalaman 500 m, untuk lapisan ketiga nilai resistivitas 16093,11 Ωm naik ke 152617,27 Ωm dengan kedalaman lebih dari 1000 m. Nilai RMS error menunjukkan nilai yang cukup kecil 15,5 % pada iterasi ke 8.



Gambar 2. Peta geologi daerah penelitian

Dalam setiap pengukuran data MT, variasi resistivitas mencerminkan perbedaan sifat litologi atau kandungan fluida di bawah permukaan. Garis hitam pada grafik menandai kisaran kedalaman yang menjadi fokus analisis, dengan tujuan untuk mengidentifikasi apakah terdapat korelasi yang signifikan antara nilai resistivitas dengan kedalaman bawah permukaan.

Pemodelan dari inversi 1D pada titik berwarna merah merupakan *apparent resistivity* dan biru merupakan *phase* terhadap perioda. Gambar 3 mengilustrasikan hasil inversi 1D dari data MT, menunjukkan nilai dengan resistivitas tinggi berada pada gambar kedua dengan kedalaman lebih dari 1000 m yang menggambarkan distribusi resistivitas terhadap kedalaman secara lebih terperinci. Melalui analisis ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih baik mengenai struktur bawah permukaan serta indikasi keberadaan lapisan batuan dengan karakteristik tertentu, seperti zona konduktif yang mungkin terkait dengan keberadaan fluida atau mineralisasi.

Tabel 1. Nilai resistivitas dan kedalaman pada inversi 1D.

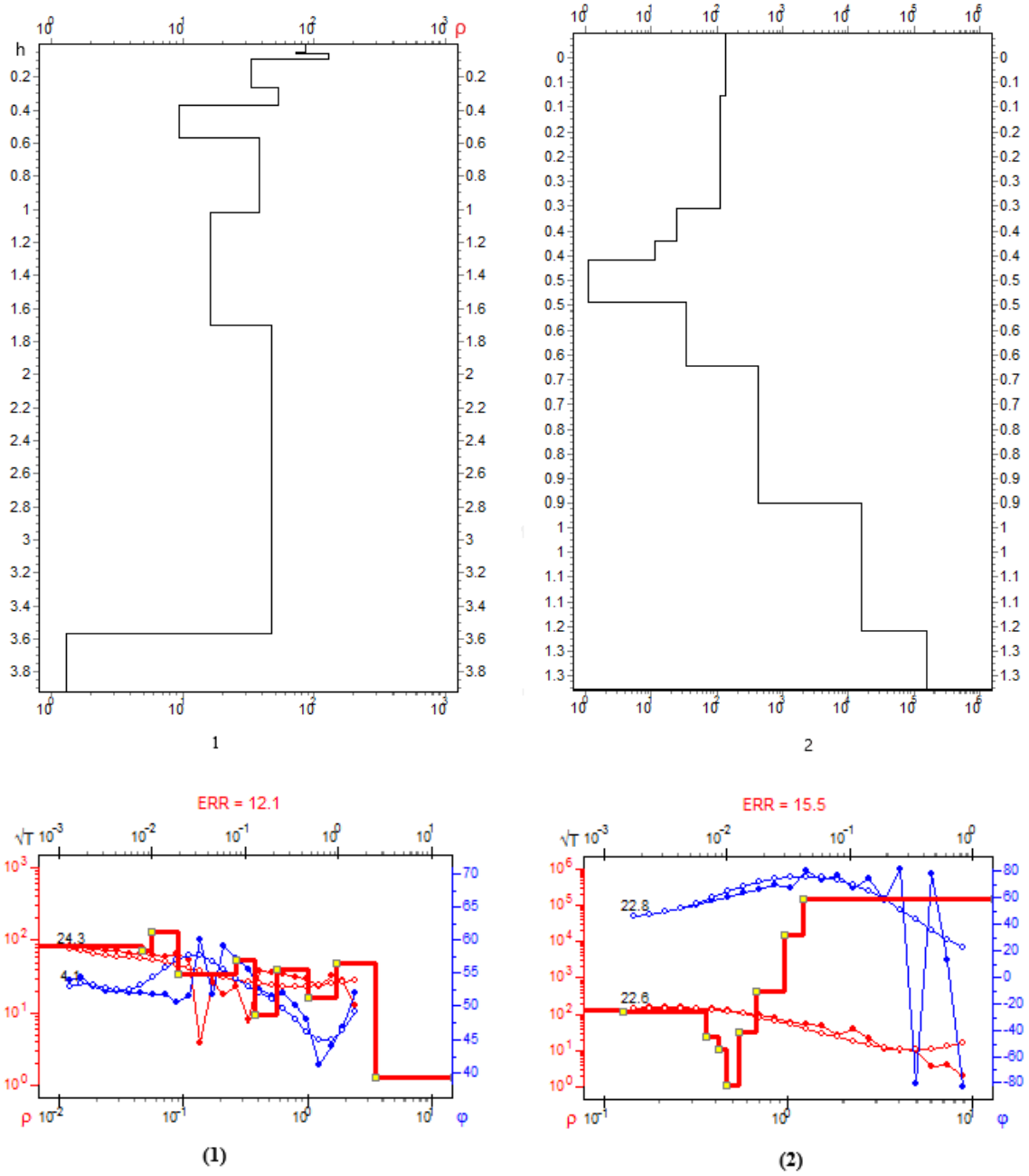
ρ_1 (Ωm)	h_1 (m)	ρ_2 (Ωm)	h_2 (km)
85,29	100	132,29	100
72,91	150	114, 37	200
127,79	200	24,66	300
33,51	300	11,23	400
53,05	400	1,12	500
9, 35	500	33, 31	600
38,61	600	423, 37	700
16,07	1000	16093,11	900
47,21	1800	152617,27	1200
1,29	3600		

Pada pemodelan 1D resitivitas direpresentasikan bervariasi terhadap kedalaman tertentu. Hasil pemodelan inversi 1D akan dikorelasi dengan hasil pemodelan 2D untuk mendapatkan hasil pemodelan yang lebih realistis. Untuk mendapatkan model yang mendekati model sebenarnya.

Dalam sistem panas bumi yang kompleks, resistivitas semu invarian dianggap lebih andal dalam mengembangkan model resistivitas berlapis. Setiap mode dalam magnetotelurik memiliki kelebihan dan keterbatasannya masing-masing. *Transverse Electric* (TE) mode kurang sensitif terhadap perubahan resistivitas, sehingga kurang efektif dalam mendeteksi variasi kecil dalam sistem panas bumi. Sebaliknya, *Transverse Magnetic* (TM) mode sangat dipengaruhi oleh perubahan resistivitas lateral, yang dapat menyebabkan interpretasi yang kurang akurat jika tidak dianalisis dengan cermat. Oleh karena itu, pendekatan interpretasi harus mempertimbangkan keterbatasan masing-masing mode untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat (Anderson dkk. 2000).

Proses interpretasi dilakukan dengan mengidentifikasi lapisan lempung konduktif, yang berperan sebagai indikator utama keberadaan sistem panas bumi. Lapisan ini dianalisis berdasarkan beberapa parameter utama, seperti kedalaman, ketebalan, resistivitas, dan konduktansi, guna memastikan bahwa hasil yang diperoleh sesuai dengan kondisi fisik dan hidrologis yang masuk akal.

Salah satu anomali paling signifikan yang berhasil diidentifikasi dalam penelitian ini adalah elevasi dasar lapisan konduktif, yang berkorelasi dengan suhu lebih dari 100°C. Suhu ini menjadi salah satu indikator utama dalam menentukan potensi panas bumi di suatu wilayah. Namun, interpretasi anomali ini harus diperkuat dengan analisis parameter lain, seperti resistivitas dan ketebalan lapisan konduktif, serta karakteristik lapisan di bawahnya, untuk memperoleh gambaran yang lebih akurat mengenai potensi panas bumi di lokasi penelitian.



Gambar 3. Inversi model 1D

Pemodelan inversi 2D menginterpretasikan nilai resistivitas sistem panas bumi di kawasan Wisata Air Putih, Kecamatan Tambang Sawah, Provinsi Bengkulu.

Dari penelitian sebelumnya Al Ansory *dkk.* (2023), di kawasan Tambang Sawah dengan menggunakan metode magnetotelurik diketahui bahwa struktur bawah permukaan dapat diidentifikasi dari nilai penampang resistivitasnya, dengan batuan hot rock nya berada di kedalaman dangkal 1,8 km yang tersusun atas batuan beku dan metamorf.

Berdasarkan hasil interpretasi pada Gambar 4 terdiri dari 8 titik ukur. Nilai resistivitas terdiri dari resistivitas rendah, nilai resistivitas sedang dan resistivitas tinggi. Dari pembagian ini dapat di identifikasi jenis batuan yang terdapat di daerah penelitian ini.

Terdapat nilai resistivitas rendah (2.2-5.8 Ωm) ditampilkan dengan warna kuning, berada di kedalaman >0,2 km diidentifikasi merupakan batuan vulkanik yang mengalami alterasi dengan kandungan mineral lempung tinggi (Maryanto dkk., 2017). Lapisan lempung bersifat impermeabel, dan memastikan bahwa panas tetap terakumulasi di area reservoir (Rahmawati dkk., 2017).

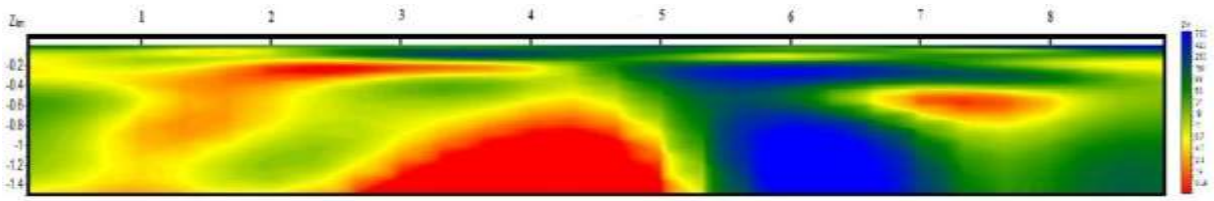
Resistivitas sedang (15-160 Ωm) yang diidentifikasi sebagai batuan lava andesit yang mengalami rekahan. Rekahan menjadi jalur keluar masuknya fluida panas berada di kedalaman >0,5 km dari permukaan yang ditunjukkan dengan warna hijau. Reservoir berkarakteristik permeabel dan sebagai tempat sirkulasi fluida yang menghasilkan panas, namun tidak dapat dibedakan yang berupa fluida dan uap panas (Asmorowati dan Lukmana., 2019). Resistivitas tinggi (>300 Ωm) pada kedalaman >2 km ditampilkan dengan warna biru tua merupakan zona intrusi *yang* diduga terdapat rekahan di zona reservoir (Rahmawati *dkk.* 2017). Nilai resistivitas terkecil yang teramati pada bagian permukaan diinterpretasikan sebagai overburden yang tidak mengalami proses alterasi. Namun model inversi 2D yang dihasilkan tidak dapat membedakan antara reservoir berkarakter dominasi uap dan dominasi air (Robertson *dkk.,* 2016).

Berdasarkan data peta geologi pada Gambar 2. pada titik penelitian yaitu titik 7 dan 8 terdapat struktur sesar yang terlihat di sungai air putih. Sruktur sesar ini merupakan sesar dekstral. Struktur sesar ini berperan penting dalam pembentukan intrusi di kawasan ini (Jangkat *dkk.*, 2021).

Pada daerah anomali ini terdapat lubang-lubang fumarol yang mengeluarkan uap panas kemungkinan adanya fenomena fluida yang berasosiasi dengan zona subduksi sehingga mengubah struktur lapisan kerak, dan menghasilkan unsur karbon dan sulfida, dimana unsur-unsur ini dapat meningkatkan konduktivitas di bawah permukaan bumi sehingga muncul aliran panas. Diidentifikasi bahwa zona ini merupakan fumarol (Harjo *dkk.,* 2017). Zona fumarol merupakan tempat keluarnya gas yang berasal dari fluida panas, dimana magma berada di kedalaman dangkal.

Hubungan antara penampang resistivitas ini dengan manifestasi panas bumi di permukaan juga menjadi kunci dalam interpretasi data. Manifestasi panas bumi seperti mata air panas yang terletak di atas atau dekat dengan zona-zona resistivitas rendah di bawah permukaan, yang menunjukkan adanya hubungan langsung antara kondisi geologi bawah permukaan dengan manifestasi panas bumi yang muncul ke permukaan.

Pada titik antara MT7 dan MT8 terdapat struktur sesar yang diidentifikasi sebagai graben yang menjadi pengontrol timbulnya manifestasi di sekitar lokasi pengukuran. Graben ini terjadi akibat dari adanya aktivitas tektonik dari Sesar Ketaun. Batuan pada graben diidentifikasi sebagai batuan metasedimen yang tersusun dari batuan lanau dan batuan lumpur yang telah mengalami ubahan. Di sekitar titik MT5, terdapat rekahan pada batuan yang menjadi lajur naiknya fluida ke atas, sehingga muncul sumber air panas. Retakan batuan terjadi karena adanya sifat fisiknya yaitu memiliki banyak pori-pori (Khasmadin dan Harmoko, 2021).



Gambar 4. Pemodelan Inversi 2D

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil interpretasi terdapat perbedaan resistivitas pada tiap zona, yaitu zona dengan nilai resistivitas rendah (18-30 Ωm) yang diidentifikasi merupakan batuan vulkanik yang mengalami alterasi dengan kandungan mineral lempung tinggi, resistivitas sedang (40-160 Ωm) diidentifikasi sebagai batuan lava andesit yang mengalami rekahan. Rekahan pada batuan menjadi jalur keluar masuknya fluida panas. Resistivitas tinggi (>300 Ωm) Zona resistivitas tinggi adalah zona yang tidak mudah menghantarkan arus listrik, sehingga nilai resistivitasnya tinggi. Hal ini terjadi karena komposisi material, kondisi fisik, atau ketiadaan air/fluida konduktif. Pada Kawasan Wisata Air Putih terdapat sesar yang menjadi pengontrol intrusi magma. Struktur sesar yang diidentifikasi sebagai graben yang menjadi pengontrol timbulnya manifestasi di sekitar lokasi pengukuran. Graben ini terjadi akibat dari adanya aktivitas tektonik dari Sesar Ketaun. Batuan pada graben diidentifikasi sebagai batuan metasedimen yang tersusun dari batuan lanau dan batuan lumpur yang telah mengalami ubahan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa struktur batuan di daerah penelitian terdiri dari satuan batuan vulkanik, formasi utamanya adalah endapan vulkanik andesit yang telah mengalami alterasi dan termineralisasi. Temuan dari penampang resistivitas ini memberikan dasar yang kuat untuk eksplorasi lebih lanjut, termasuk pengeboran terarah untuk mengonfirmasi keberadaan dan kelayakan reservoir panas bumi, yang dapat mendukung pengembangan energi panas bumi di Wisata Air Putih, Kabupaten Lebong.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada laboratorium jurusan fisika dan kepada dosen pembimbing utama dan pendamping yang telah membantu dalam proses pengolahan data serta rekan-rekan yang telah turut serta dalam proses akuisisi data di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

Anderson, Errol, Daryl Crosby, Greg Ussher, and New Zealand. 2000. “Bulls-Eye ! - Simple Resistivity Imaging To Reliably Locate the Geothermal Reservoir.” *World Geothermal Congress* 909–14.

Al Ansory, A.R., Raihana, H., Pritama, V, L., Saputri, W., Magribi, F , B., Halaudin., Harlianto, B., Farid, M., Hadi, A,I., Sugianto, N., 2023. 2023. Delineasi Nilai Resistivitas Di Lapangan Panas Bumi Tambang Sawah Menggunakan Metode Magnetotellurik’, *Buletin Sumber Daya Geologi*, 18, 145–154.

Asmorowati, D., Lukmana, A, H ., 2019 Judul Buku : 3D Modeling Reservoir Geothermal. Lembaga Pelitian dan Pengabdian Masyarakat UPN “ Veteran ” Yogyakarta’.

Budi Harjo, T.A., Bahri, A.S. and Utama, W. 2017. Identifikasi Zona Alterasi Hidrotermal Songgoriti Batu Menggunakan Metode Time Domain Induced Polarization (TDIP), *Jurnal Teknik ITS*, 6(2), 6–8.

Firdaus, A., Harmoko, U. and Widada, S. 2014. Pemodelan Steady State Sistem Panas Bumi Daerah Sumber Air Panas Diwak-Derakan dengan Menggunakan Software Hydrothrem 2.2, *Youngster Physics Journal*, 3(4), 243–250.

Harahap, Z.A.., J., I, Okto., Kholid, M., 2022. Determinasi Zona Reservoir Dengan Data Magnetotelurik Di Zona Prospek Panas Bumi Telaga Ngebel, Jawa Timur’, *Padjadjaran Geoscience*, 6(2), 803–811.

Hendra, G. 2013. Metoda Magnetotellurik, 1–17.

Heryanto, R. 2006. Karakteristik formasi seblat di daerah bengkulu selatan, *Geo-Resources JSDG*, XVI(3), 179–195.

Indarto, S., Setiawan., I., Sudarsono., Fiqih, F, M., Fauzi, A., 2007. Alterasi dan Mineralisasi Hidrotermal pada Batuan Volkanik Formasi Hulusimpang Daerah Bengkulu dan Lampung di Kawasan Sayap Barat

Pegunungan Bukit Barisan, Sumatera', *Prosiding Seminar Geoteknologi Kontribusi Ilmu Kebumian dalam Pembangunan Berkelanjutan*, pp. 165–173.

Jangkat, K. 2021. Petrogenesis Intrusi Granitoid Langkup di Desa Rantau Kermas dan Petrogenesis Intrusi Granitoid Langkup di Desa Rantau Kermas

Khasmadin, M.F. and Harmoko, U. 2021. Kajian Potensi dan Pemanfaatan Energi Panas Bumi di Wilayah Kerja Panas Bumi Patuha Ciwidey, *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, 2(2), 101–113.

Kusnama, Mangga, S.A. and Sukarna, D. 1993. Tertiary stratigraphy and tectonic evolution of southern Sumatra', *Bulletin of the Geological Society of Malaysia*, 33, pp. 143–152.

Lestari, S.E. *dkk.* (2022) 'Aplikasi Metode Magnetik Pada Pemetaan Sumber Panass Bumi di Kawasan Wisata Air Putih, Lebong, Bengkulu', *Newton-Maxwell Journal of Physics*, 3(2), pp. 2775–5894.

Margareth, H. (2017) 'Analisis Tensor Fase dan Pemodelan 2D Data Magnetotelurik Gabbs Valley,Nevada,USA', *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 09(03), 206–216.

Mukazairo, D.S.E., Refrizon, R. and Sugianto, N. 2020. Peta Anomali Magnetik Daerah Mineralisasi Emas Di Desa Tambang Sawah Kecamatan Lebong Utara Berdasarkan Pengukuran Magnetik', *Newton-Maxwell Journal of Physics*, 1(1), 19–24

Murdani . 2017. Pemodelan 2 Dimensi Data Magnetotellurik Daerah Prospek Panasbumi Lapangan "JGT"', 1–23.

Rahmawati, R., Maryanto, S. and Susilo, A. 2017. Identifikasi Sistem Panas Bumi Daerah Cangar, Jawa Timur menggunakan Metode Magnetotelurik', *JPSE (Journal of Physical Science and Engineering)*, 2(2), 72–82.

Raihana, H., Nazli, K., Suhendra., Refrizon., Halaudin. 2023. Investigation of the Geothermal Resource Potential Using Geoelectrical Method With the Wenner Configuration: a Case Study in Lebong Regency, Indonesia, *Indonesian Physical Review*, 6(2), 177–188.

Robertson, K., Thiel, S. and Heinson, G. 2016. The Flinders Conductivity Anomal(ies) revisited using AusLAMP Magnetotelluric Data', *ASEG Extended Abstracts*, 2016(1), 1–6.

Supartoyo ., Praja, N, K, Praponco, N, T., Hespianto, S., 2018. 03_GM0302_97-104.pdf', 97–104.

Syahwanti, H., Srigutomo, W. and Kholid, M. 2017. 2-D Resistivity Structure of Cubadak Geothermal Area Revealed from Magnetotelluric Data', *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 62(1).

Wulandari jasmine christian, Gaffar z. Eddy, zulaikah siti, P.N.A. 2017. Penentuan Struktur Litologi Daerah Panasbumi Probolinggo Menggunakan Metode Magnetotelurik (MT).

Zarkasyi, A. 2019. Aplikasi Metode Magnetotelurik Dalam Interpretasi Struktur Panas Bumi: Daerah Panas Bumi Gunung Karua, Tana Toraja Sulawesi Selatan', *Jurnal Geosaintek*, 5(1), 1.

Buletin Sumber Daya Geologi
Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi,
Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral
Website: https://buletinsdg.geologi.esdm.go.id
ISSN 1907-5367, e-ISSN 2580-1023



PEMODELAN CADANGAN BATUBARA BERDASARKAN PENENTUAN *BATTERBLOCK* DI SANGA DESA, MUSI BANYUASIN, SUMATERA SELATAN

MODELLING OF COAL RESERVES BASED ON BATTERBLOCK AT SANGA DESA, MUSI BANYUASIN, SOUTH SUMATERA

Darsa Permana, Dwiky Septa Kurniawan, Husni Muhammad Awad, dan Ravi Yuliansyah Pratama
Sekolah Tinggi Teknologi Mineral Indonesia, Bandung, Indonesia

Email korespondensi: darsapermana51@gmail.com
Diterima: 15 Juli 2024; Direvisi: 20 Agustus 2024; Disetujui: 30 Mei 2025
DOI: https://doi.org/10.47599/bsdg.v20i1.516

ABSTRAK

Estimasi cadangan merupakan upaya untuk mengetahui nilai keekonomisan suatu endapan mineral dan batubara sekaligus sebagai dasar evaluasi keekonomian, apakah daerah yang diteliti layak atau tidak layak untuk ditambang. Penelitian untuk estimasi cadangan dilakukan pada lokasi tambang batubara di daerah Sanga Desa, Musi Banyuasin, Sumatera Selatan. Estimasi dibantu oleh program berbasis komputer, yakni perangkat lunak Minescape 5.7. Penelitian ini menggunakan metode model blok untuk menentukan daerah potensial batubara. Berdasarkan model blok ini dibuat batterblock, sehingga dapat dibuat resgraph yang dapat menentukan daerah potensial yang akan ditambang dengan menggunakan Minescape 5.7 diperoleh estimasi cadangan batubara 84.447.000 MT dan lapisan tanah penutup 280.320.000 BCM, sehingga diperoleh nisbah pengupasan 3,3 dengan luas pit 300,54 ha.

Kata Kunci: Batubara, Minescape, Model blok, *Batterblock* Solid, Nisbah pengupasan

ABSTRACT

Reserves estimation are an effort to determine the economic value of minerals, as well as a basis for economic evaluation, whether the area under study is suitable or not suitable for mining. Reserves estimation are carried out at a coal mining company site in the Sanga Desa, Musi Banyuasin, Sumatera Selatan. Estimation are assisted by computer based program, namely Minescape 5.7 software. This research uses the block model method to determine potential coal areas. Based on this block model, a batter block is created in order to form a resgraph that can be used to determine the potential area to be mined by using Minescape 5.7, an estimate of coal reserves of 84,447,000 MT and overburden of 280,320,000 BCM obtained, so the stripping ratio is 3.3 with a pit area of 300.54 ha.

***Keywords**: coal, minescape, block model, batter block solid, stripping ratio*

Latar Belakang

Perancangan suatu tambang, baik tambang terbuka maupun tambang dalam, memerlukan estimasi sumber daya dan/atau cadangan yang akurat, karena hasilnya akan menentukan rancangan kegiatan penambangan. Estimasi itu sendiri diperoleh melalui pemodelan berbasis komputer, yang akan berpengaruh pada rancangan desain *pit*, dengan mempertimbangkan umur tambang dan nilai nisbah pengupasan (*stripping ratio*).

Berdasarkan latar belakang tersebut, dilakukan penelitian untuk estimasi cadangan batubara dalam pemodelan *pit* penambangan batubara berdasarkan penentuan *batterblock* pada perusahaan tambang batubara di Kecamatan Sanga Desa, Kabupaten Musi Banyuasin, Provinsi Sumatera Selatan (Gambar 1). Batubara di wilayah ini termasuk ke dalam Formasi Muaraenim, bagian dari Cekungan Sumatera Selatan. Berdasarkan hasil penelitian De Coster (1974) mengenai siklus pengendapan di Cekungan Sumatera Selatan, disimpulkan bahwa batuan dan endapan batubara yang termasuk ke dalam Formasi Muaraenim memiliki siklus pengendapan regresi.

Untuk nilai nisbah pengupasan, pihak perusahaan mensyaratkan tidak melebihi 1 : 8, artinya untuk mengambil 1 ton batubara maksimal harus mengupas lapisan tanah penutup sebanyak 8 bcm (*bank cubic* meter). Sementara sebagai alat bantu untuk estimasi sumber daya dan cadangan batubara digunakan piranti lunak Minescape 5.7.

Rumusan Masalah dan Tujuan Penelitian

Rumusan masalah mencakup berapa estimasi sumber daya dan/atau cadangan batubara dan nilai nisbah pengupasan pada *pit*, serta bagaimana bentuk desain *pit* yang akan dibuat. Untuk itu penelitian bertujuan untuk mengetahui estimasi sumber daya dan/atau cadangan batubara dan nilai nisbah pengupasan, serta bentuk desain *pit* penambangan, dengan mengacu kepada Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 26 Tahun 2018, tentang Pelaksanaan Kaidah Pertambangan yang Baik dan Pengawasan Pertambangan Mineral dan Batubara.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

METODOLOGI PENELITIAN

Geologi Daerah Penelitian

Berdasarkan tatanan tektonik, cekungan batubara di Indonesia Bagian Barat dapat dibagi menjadi Cekungan Busur Muka berumur Neogen, Cekungan Antar Gunung (Intramontana) yang berumur Paleogen, dan Cekungan Busur Belakang Neogen (Cekungan Sumatera Tengah). Hingga saat ini telah diketahui 2 (dua) cekungan utama yang terendapkan pada busur belakang menjadi target eksplorasi dan produksi batubara di Sumatera, yaitu Cekungan Sumatera Selatan dan Cekungan Sumatera Tengah (De Coster, 1974).

Penelitian berada pada Formasi Muaraenim, yang merupakan bagian dari Cekungan Sumatera Selatan, yang secara umum menghasilkan endapan batubara dengan penyebaran yang cukup luas, namun memiliki peringkat batubara tidak terlalu tinggi, kecuali di sekitar daerah intrusi batuan beku, seperti yang terdapat di lapangan batubara Air Laya, Suban, dan Bukit Kendi.

Pengendapan di Cekungan Sumatera Selatan, disimpulkan bahwa batuan dan endapan batubara yang termasuk ke dalam Formasi Muaraenim memiliki siklus pengendapan regresi (De Coster 1974). Selain Formasi Muaraenim, juga terdapat lapisan-lapisan tipis batubara pada Formasi Talangakar dan Formasi Lahat yang berumur relatif lebih tua daripada Formasi Muaraenim. Juga diperkirakan potensi batubara berupa lapisan-lapisan tipis yang merupakan anggota Formasi Kasai yang berumur lebih muda daripada Formasi Muaraenim. Dapat teridentifikasi bahwa di dalam Formasi Muaraenim terdapat paling tidak 12 lapisan batubara utama, dari bawah ke atas yaitu lapisan batubara Kladi, Merapi, Petai (C), Suban (B), Mangus (A), Burung, Benuang, Kebon, Benakat/Jelawatan, Lematang, Niru (Shell Mijnbow, 1978). Pengendapan batubara di formasi ini dipengaruhi saat susut laut pada peristiwa perubahan muka air laut yang terjadi pada Kala Miosen.

Metode Penelitian

Penelitian yang dilakukan termasuk ke dalam penelitian terapan (*applied research*), yang akan memberikan solusi terhadap permasalahan *yang* dihadapi perusahaan dalam merancang tambang yang efektif dan efisien. Dengan demikian penelitian ini memiliki manfaat yang bersifat aplikatif.

Teknis analisis data menggunakan data kuantitatif, yaitu dengan mengolah data bertumpu pada pemakaian piranti lunak Minescape 5.7, yang akan menampilkan bentuk desain *pit* dalam bentuk gambar 2D dan 3D. Adapun data yang digunakan berupa data sekunder yang telah disiapkan oleh perusahaan, yakni data topografi, data lithologi, data titik-titik bor.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Daerah Pengaruh Batubara

Daerah pengaruh batubara adalah daerah yang menyatakan sumber daya berada pada klasifikasi sumber daya terukur, tereka atau tertunjuk (Bombang H. dkk, 2020). Klasifikasi sumber daya ditentukan berdasarkan SNI 5015:2019 (lihat Tabel 1).

Tabel 1. Jarak Titik Pengamatan Menurut Kondisi Geologi

Kondisi Geologi	Kriteria	Sumber Daya		
		Tereka	Tertunjuk	Terukur
Sederhana	Jarak titik pengamatan (m)	1000 < x ≤ 1500	500 < x ≤ 1000	x ≤ 500
Moderat	Jarak titik pengamatan (m)	500 < x ≤ 1000	250 < x ≤ 500	x ≤ 250
Kompleks	Jarak titik pengamatan (m)	250 < x ≤ 500	100 < x ≤ 250	x ≤ 100

Sumber: Badan Standardisasi Nasional, SNI 5015:2019

Pada daerah penelitian ini digunakan kondisi geologi menjadi Moderat, yaitu dengan klasifikasi sumber daya terukur, mengingat jarak titik bor rata-rata 200 m (Tabel 1).

Batterblock Solid

Batterblock solid adalah poligon yang berupa gabungan panel dan bidang petak (*strip*), serta bertujuan membuat rangkaian blok 3D yang mewakili geometris blok-blok tambang yang ditentukan dengan mempertimbangkan faktor geoteknik, kemampuan alat, keamanan, dan faktor kemudahan operasional.

Batterblock solid, dibagi menjadi volume lapisan tanah penutup (*overburden*) dan *interburden* yang dapat dibagi menjadi blok-blok yang setiap blok mempunyai nilai masing-masing (Bargawa, 2010). Hal ini disebabkan adanya perbedaan nilai nisbah pengupasan pada setiap bloknya. Pada prinsipnya estimasi volume lapisan tanah penutup sama dengan lapisan *interburden*, yaitu dengan membentuk blok-blok solid yang masing-masing mempunyai nilai setiap bloknya.

Estimasi Volume Lapisan Tanah Penutup dan Batubara

Estimasi volume lapisan tanah penutup dan tonase batubara merupakan salah satu tahap dalam mengestimasi nilai nisbah pengupasan. Volume tanah penutup atau volume batubara diestimasi dari nilai rata-rata tebal lapisan tanah penutup atau tebal batubara yang diketahui dari setiap titik bor, dibagi dengan jumlah titik bor dan dikalikan dengan luas area dari titik bor, seperti pada rumus sebagai berikut (Bombang H. dkk, 2020).

$$\textbf{Tob/Tbb} = \frac{k1+k2+\cdots kn}{n}$$

Keterangan:
Tob : Tebal rata-rata lapisan tanah penutup, m
Tbb : Tebal rata-rata batubara, m
$k_1 + k_2 + \ldots k_n$: Tebal lapisan tanah penutup atau tebal batubara pada setiap titik bor, m
n : Jumlah titik bor

Untuk mengetahui volume lapisan tanah penutup digunakan rumus berikut:

$$\textbf{Vob} = \textbf{Tob} \times \textbf{L}$$

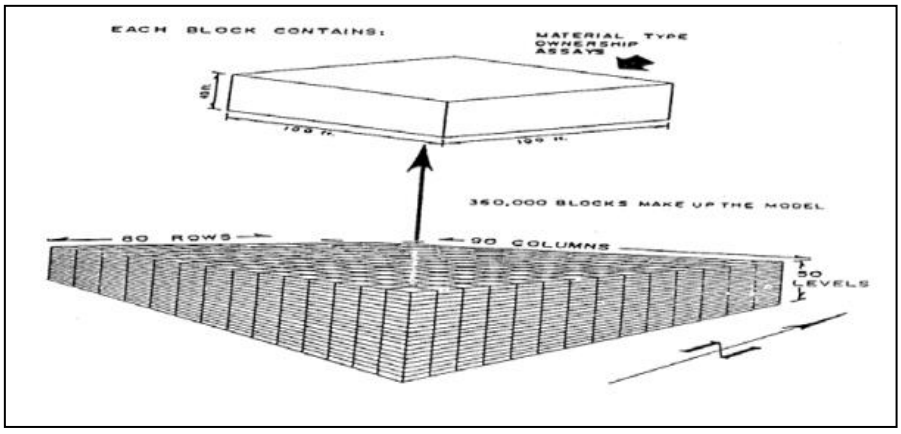
Keterangan:
Vob : Volume lapisan tanah penutup, m^3
Tob : Tebal rata-rata lapisan tanah penutup, m
L : Luas area titik bor, m^2

Untuk estimasi volume batubara dengan menggunakan *batterblock solid*, dilakukan dengan rumus berikut:

$$\textbf{Vbb} = \textbf{Tbb} \times \textbf{L}$$

Keterangan:
Vbb : Volume batubara, m^3
Tbb : Tebal rata-rata lapisan batubara, m
L : Luas area titik bor, m^2

Untuk estimasi tonase batubara didapatkan dari volume batubara dikalikan dengan densitas batubaranya.



Gambar 2. Ukuran Model Blok 3D (Bargawa, 2018)

Nisbah Pengupasan (*Stripping Ratio*)
Nisbah pengupasan didefinisikan sebagai perbandingan antara volume lapisan tanah penutup yang harus dipindahkan terhadap satu ton bijih/batubara yang ditambang (Arif, 1996). Nisbah pengupasan merupakan salah satu faktor yang sangat menentukan ekonomis tidaknya pengambilan suatu cadangan batubara; semakin besar nilai nisbah pengupasan, maka semakin banyak lapisan penutup yang harus digali untuk mengambil endapan batubara. Ini berarti diperlukan *effort* dalam bentuk waktu, tenaga dan dana lebih besar, sehingga akan mengurangi keuntungan yang diperoleh perusahaan. Sebaliknya semakin kecil nisbah pengupasan, semakin sedikit lapisan penutup yang harus digali, yang berarti semakin besar keuntungan perusahaan.

Hasil perancangan *pit* akan menentukan berapa tonase batubara dan lapisan penutup yang dikandung *pit* itu. Perbandingan antara lapisan penutup dan batubara tersebut akan memberikan nisbah pengupasan rata-rata suatu *pit*. Hal ini dilakukan untuk dapat menentukan pada elevasi berapa nisbah pengupasan yang paling menguntungkan untuk ditambang dengan cara tambang terbuka.

Rumus umum yang digunakan dalam estimasi nisbah pengupasan adalah:

$$\textbf{Nisbah pengupasan} = \frac{Volume\ tanah\ penutup}{Tonase\ Batubara}$$

Pemodelan Batubara
Interpretasi geologi merupakan hal yang penting dalam tahap penyelidikan eksplorasi endapan batubara. Pemodelan yang dibuat merupakan pendekatan dari kondisi geologi, yang memberikan:

- Estimasi jumlah sumber daya dan/atau cadangan batubara (tonase).
- Perkiraan bentuk tiga dimensi cadangan batubara, jumlah cadangan kaitannya dengan estimasi umur tambang.
- Batas kegiatan penambangan yang dibuat berdasarkan taksiran sumber daya.
- Hasil estimasi nisbah pengupasan, yang dibatasi oleh koordinat tertentu. Peubah (variabel) untuk pemodelan, yaitu topografi daerah penelitian, informasi geologi, ketebalan dan kualitas endapan, jenis batuan, berat jenis,tonase tiap unit.

Piranti Lunak Minescape 5.7
Piranti ini menyediakan berbagai fitur yang berguna dalam pengolahan dan analisis data geologi, pertambangan, serta perencanaan tambang. Selain itu, piranti ini juga memiliki fungsi pemodelan geologi dan desain tambang, misalnya pembuatan *pit limit*, perencanaan jalan, analisis kemajuan tambang, perencanaan kegiatan eksploitasi, estimasi cadangan, dan pemodelan. Adapun data yang diperlukan berupa peta topografi, data litologi, dan data bor.

Data
Data yang digunakan berupa data sekunder dari perusahaan yang meliputi:

- Peta Topografi, meliputi data permukaan di daerah penelitian.
- Data Survei Pemboran, meliputi data nama titik bor, koordinat, dan total kedalaman.
- Data Litologi, meliputi data nama bor, kedalaman awal lapisan, kedalaman akhir lapisan, group lapisan.

PENGOLAHAN DATA

Peta Topografi
Sebagian besar permukaan tanah berupa perbukitan dengan sedikit lembah, yang ditunjukkan dengan nilai-nilai kontur yang hampir bervariasi. Daerah penelitian terletak di area yang memiliki rentang ketinggian (elevasi) antara 30 – 88 m dengan didominasi oleh perbukitan yang dapat dilihat dari kontur topografi yang rapat. Selanjutnya garis kontur tersebut dibuat *triangle* yang akan digunakan untuk estimasi sumber daya/cadangan dan membuat desain *pit* penambangan.

Pembuatan Geologi Model

Pembuatan geologi model didasarkan dari pembuatan *scema*. *Scema* artinya *settingan* pembuatan geologi model. *Settingan* ini didapat dari *file* survei dan *file* litologi. *File* survei berisi mengenai kode bor, X (*Easting*), Y (*Northing)*, Z (*Elevation*) dan total kedalaman pemboran yang merupakan total *depth,* sedangkan *file* litologi adalah data berisi informasi lubang bor yang digunakan untuk pemodelan geologi batubara termasuk kode bor, unit dari litologi, litologi, *roof* dan *floor* ketebalan lapisan batubara. Data bor dimasukkan, kemudian disesuaikan dengan format pada *Minescape* dengan melakukan *settingan* ruang permodelan, seperti *sheet* untuk melakukan batasan area pada area penelitian, kontur struktur yang digunakan untuk menentukan ketebalan lapisan batubara, serta stratigrafi untuk *section* sayatan geologi dalam bentuk 2D.

Analisis Data Bor

Data bor sebanyak 20 titik bor yang memiliki lapisan batubara berbeda, dengan jarak rata-rata antarlubang bor ± 200 meter dan kedalaman rata-rata lubang bor ± 300 meter.

Data bor di-impor dari *minescape* melalui permodelan *scema* yang terdiri dari *file* survei dan *file* litologi. Data bor tersebut diperoleh dari kegiatan pemboran eksplorasi secara detail untuk mendapatkan gambaran data yang representatif dari endapan batubara. Data survei dan data litologi akan diolah dengan mengggunakan *Minescape*. Data yang diperoleh kemudian digunakan untuk estimasi sumber daya/ cadangan batubara dan dilanjutkan dengan membuat *layout* desain penambangan.

Langkah-langkah untuk mengolah dan menganalisis data bor adalah sebagai berikut:

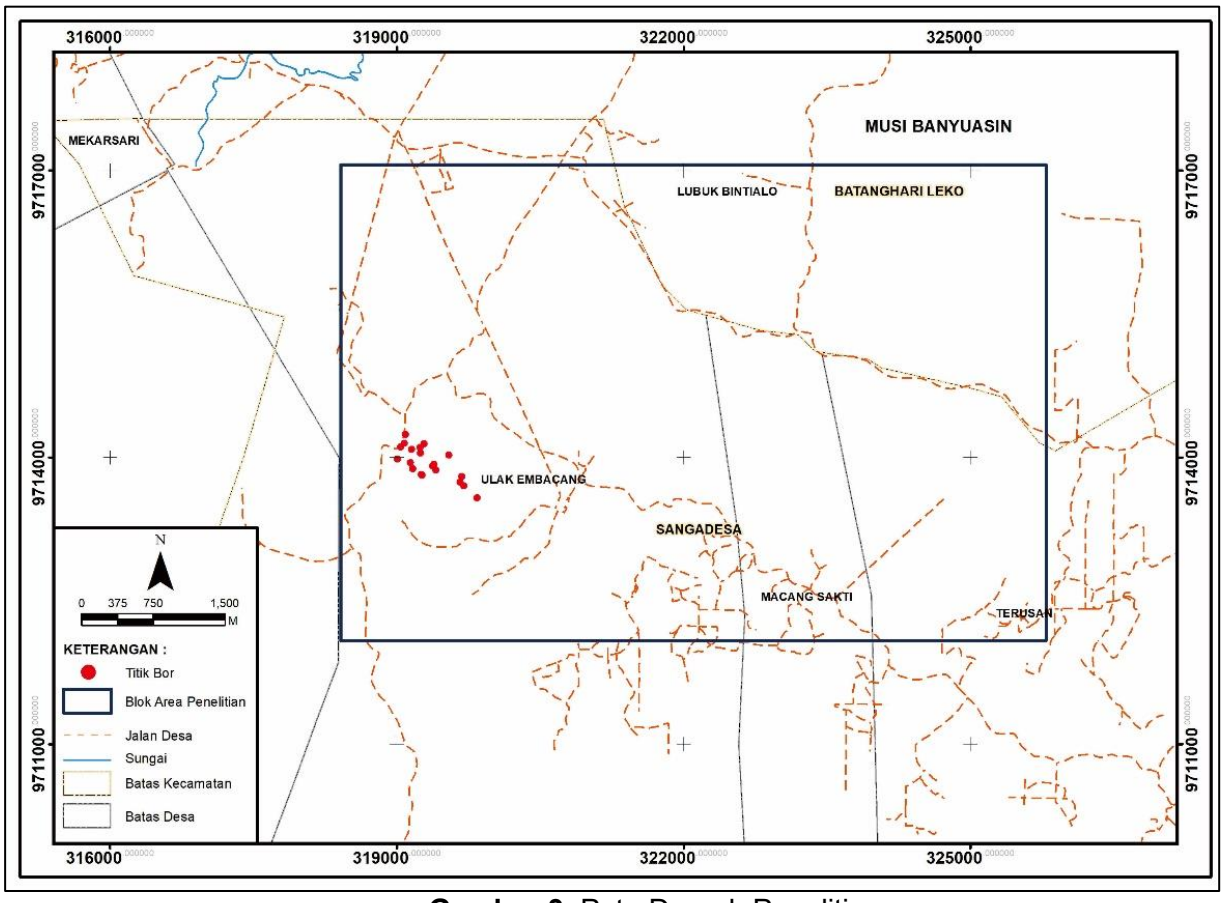
- **Membatasi Area dengan Poligon**
  Langkah awal adalah membatasi area yang akan dilakukan pengukuran sumber daya/cadangan, yaitu membuat poligon tertutup di bagian terluar dari lubang bor. Poligon tertutup dibuat berdasarkan batas dari topografi daerah penelitian (Gambar 3). Pembuatan poligon bertujuan agar area estimasi dapat dibatasi dan memudahkan pembuatan kontur struktur dari masing-masing *seam* batubara pada daerah penelitian.
- **Triangulasi**
  Triangulasi adalah sebuah metode yang menghubungkan sekumpulan *triangle* secara grafis untuk menggambarkan permukaan (*surface*). Pada piranti lunak *Minescape*, data yang ditriangulasi disimpan dalam *triangle file* (direktori/*triangle*) pada sebuah *project*. *Triangle file* sendiri merupakan sumber data grafis yang menyediakan fasilitas untuk menggambarkan model yang berhubungan dengan geologi dan segala isinya. Data hasil triangulasi dapat disimpan sebagai *surface*.
- **Sebaran Titik Bor**
  Dalam upaya pembuatan pemodelan endapan batubara, sebaran titik bor yang berjumlah 20 titik harus diolah dan diinput dengan menggunakan *Minescape*. Setelah dilakukan penginputan data survei dan data litologi, maka hasilnya akan ditampilkan dalam bentuk titik-titik bor pada *Minescape* (Gambar 4).
- **Kontur Struktur Endapan Batubara**
  Dari data dasar pemodelan endapan batubara, setelah diolah lebih lanjut akan diperoleh peta kontur struktur yang dapat memberikan informasi arah umum dan penyebaran batubara. Kontur struktur didasarkan atas pembuatan dari *grid scema* yang merupakan kontur batubara dalam bentuk garis kontur. Kontur struktur artinya kontur dari *roof* dan *floor* batubara. Kontur struktur, selain sangat berpengaruh untuk mengetahui

bentuk, penyebaran, dan endapan batubara itu sendiri, juga dapat digunakan untuk menentukan ketebalan lapisan tanah penutup. Ketebalan tersebut dapat diestimasi dari perpotongan kontur struktur dengan kontur topografi, dimana ketebalan tanah penutup ini dapat digunakan sebagai batasan awal dari penentuan *pit limit*.

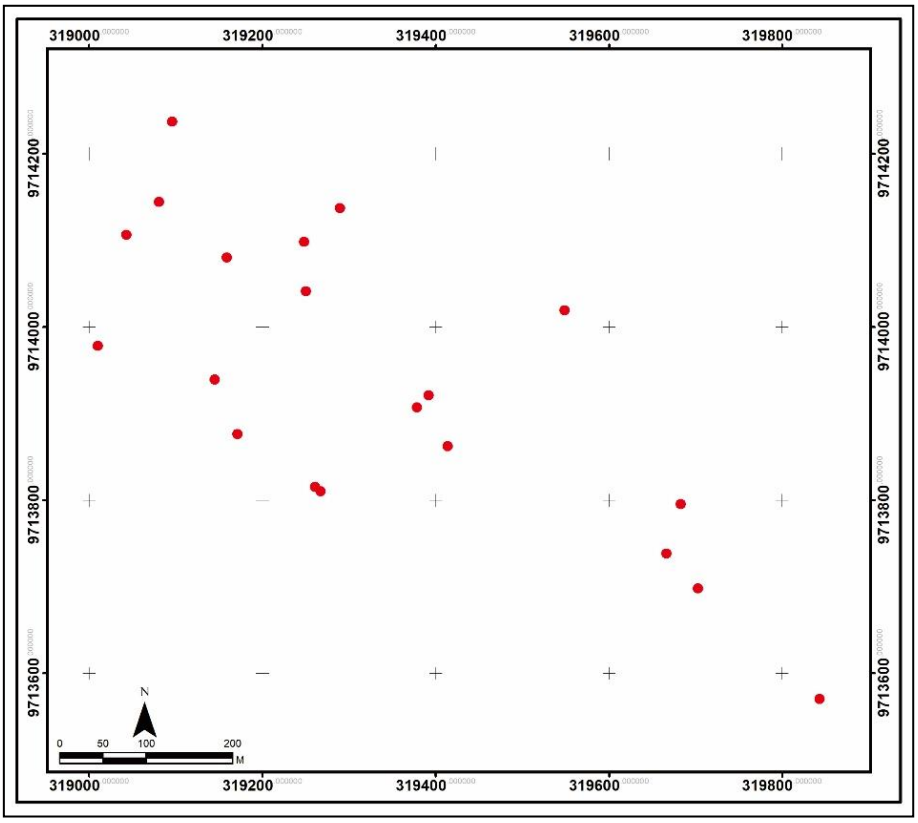
Perbandingan antara volume lapisan tanah penutup dan tonase batubara yang diterapkan dalam bentuk nisbah pengupasan, dapat dijadikan salah satu dasar penentuan batasan penambangan. Hasil pengolahan data menggunakan piranti lunak *Minescape* menunjukkan, terdapat *seam* – yang diberi nama *seam* D, untuk kemudian dilakukan pembuatan kontur struktur batubara.

- **Bentuk *Section***

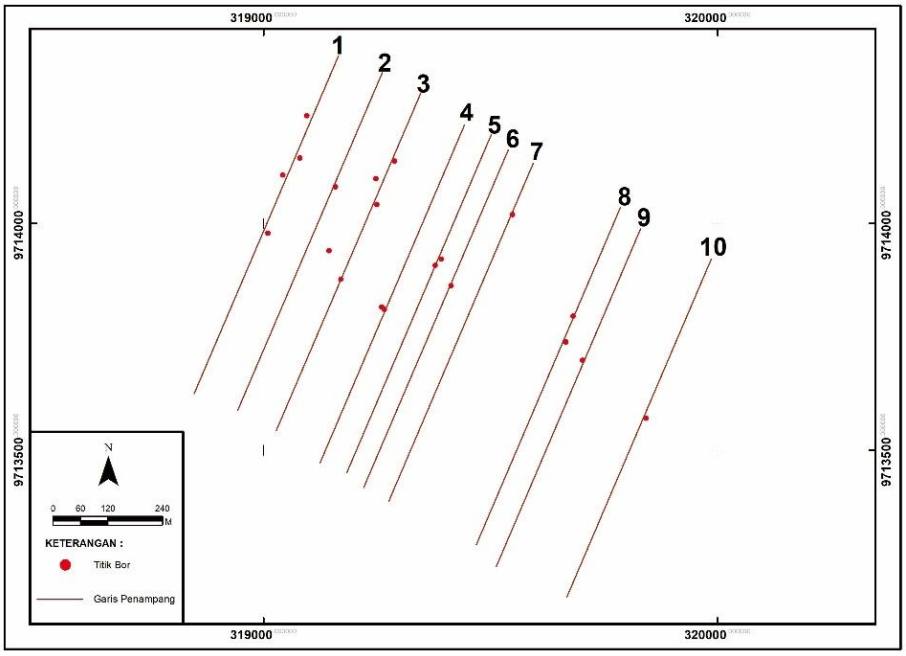
  Section batubara adalah bentuk sayatan tiga dimensi dari daerah penelitian apabila disayat antara lubang bor yang ada. *Section* batubara dapat memberikan informasi tampak kemenerusan batubara dalam keadaan aslinya di lapangan. Sebelum mendapatkan *section* batubara, harus dibuat *section* 2D terlebih dulu. *Section* 2D terdiri dari garis penghubung dimana *section* yang akan digambarkan (lihat Gambar 5).



Gambar 3. Peta Daerah Penelitian



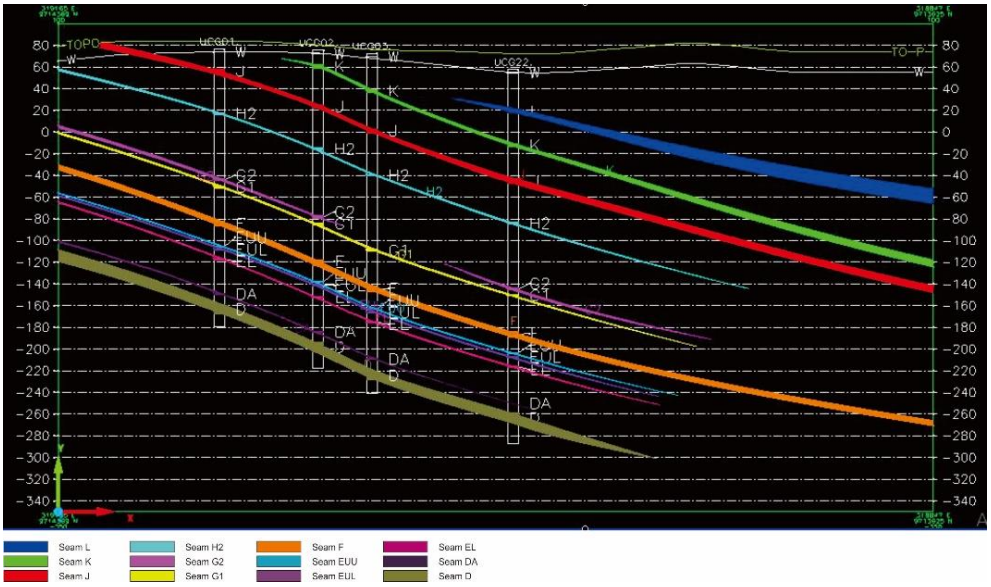
Gambar 4. Peta Sebaran Titik Bor



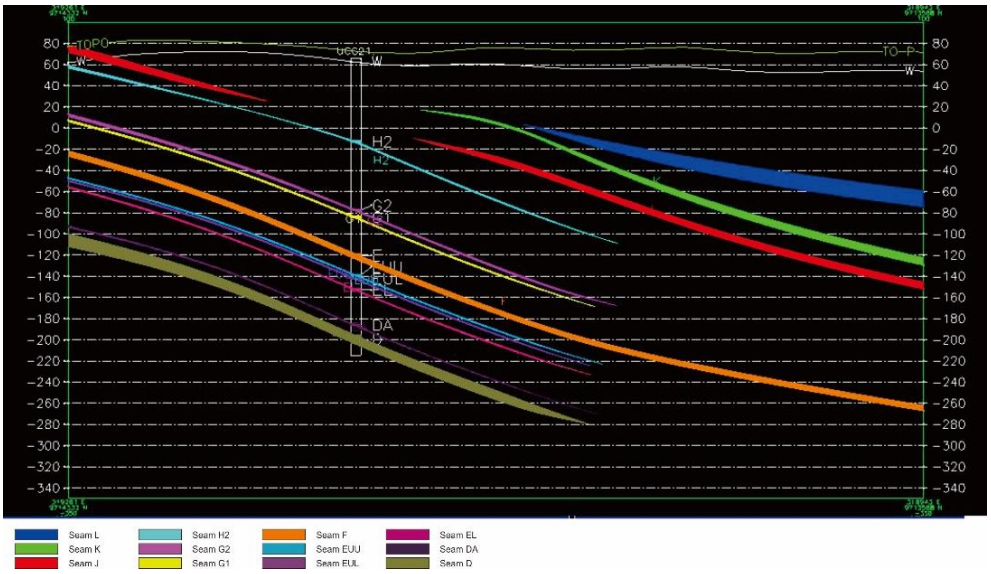
Gambar 5. Peta Garis Penampang

Keterangan: Angka 1 sampai dengan angka 10 menunjukkan garis penampang (*line section*)

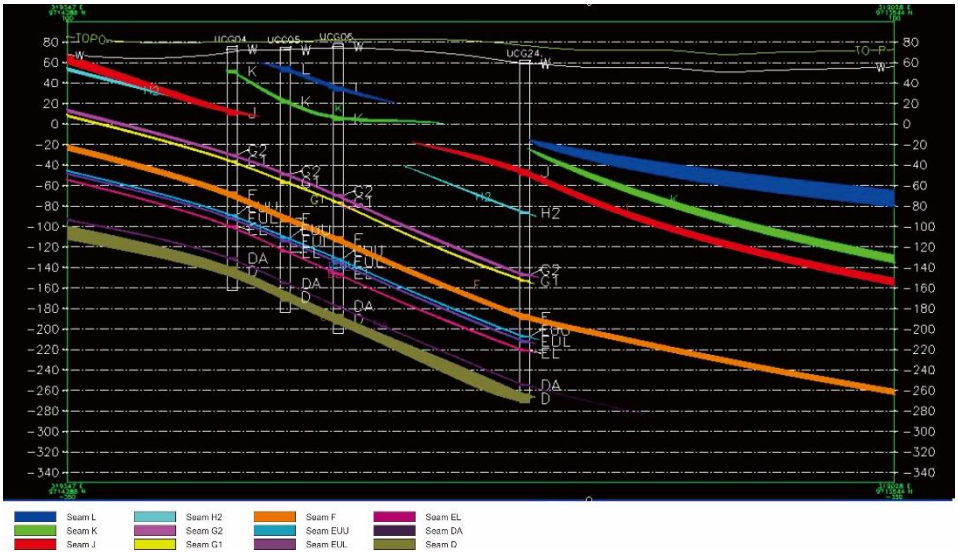
Setelah garis *section* 3D dibentuk, selanjutnya dapat ditampilkan data *section* dari lapisan batubara. Di dalam piranti lunak *Minescape*, penggambaran *section* dinamakan *section* 2D (Gambar 6 sampai dengan Gambar 15).



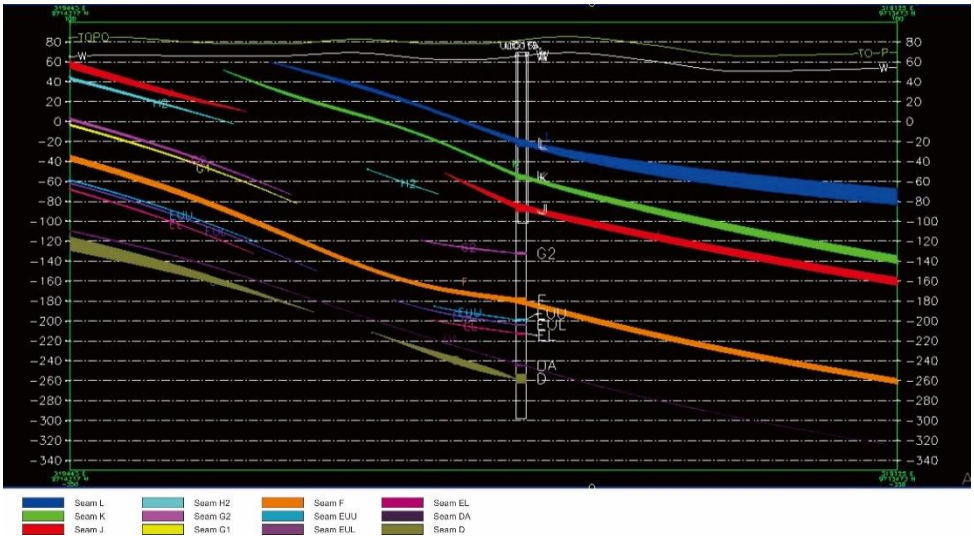
Gambar 6. Garis Penampang 1



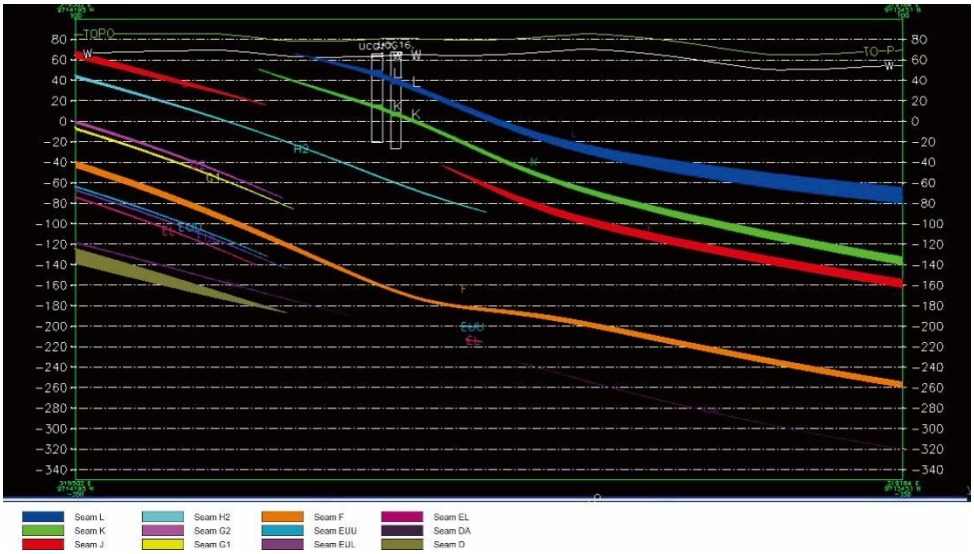
Gambar 7. Garis Penampang 2



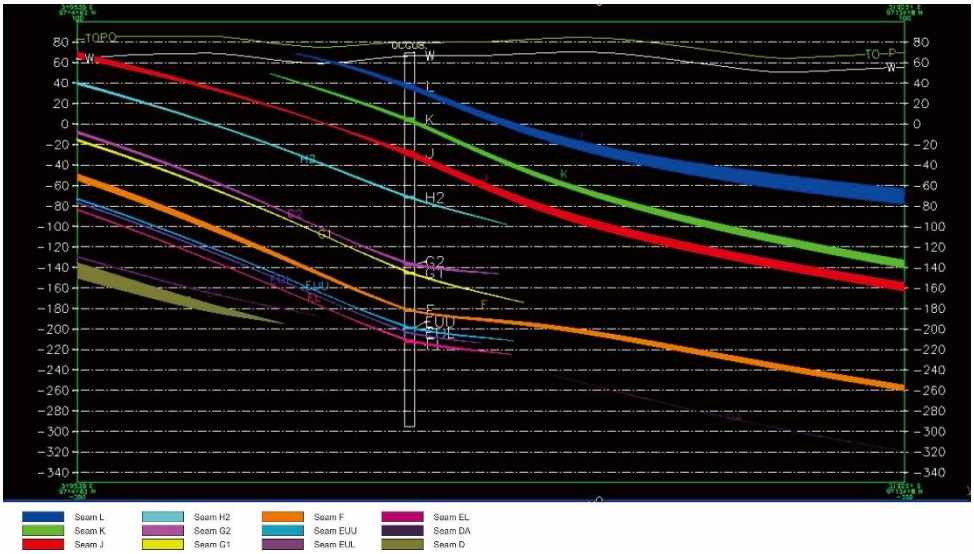
Gambar 8. Garis Penampang 3



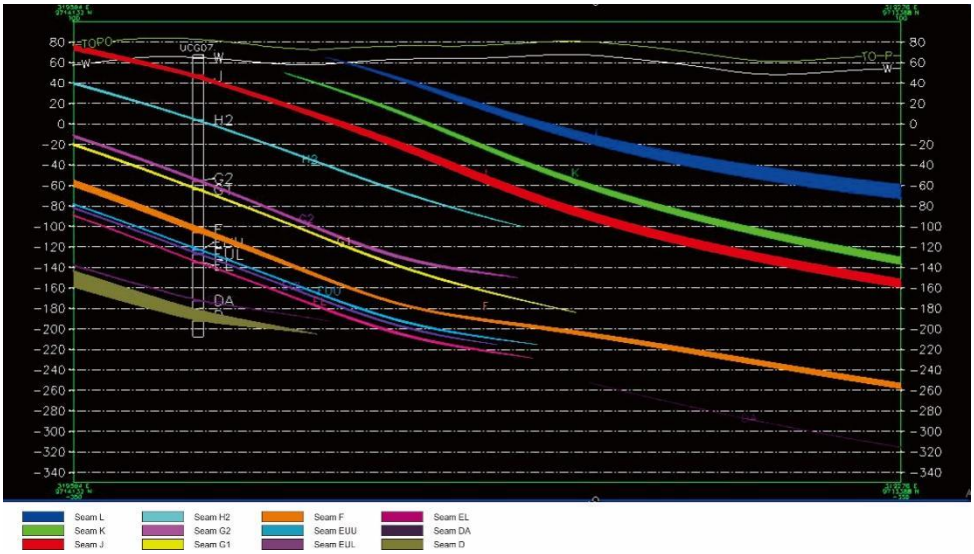
Gambar 9. Garis Penampang 4



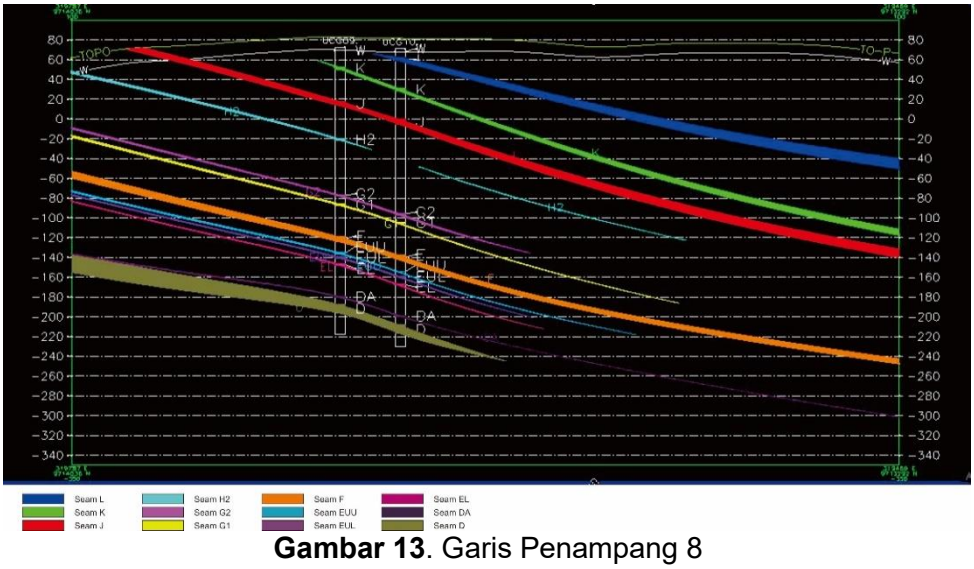
Gambar 10. Garis Penampang 5



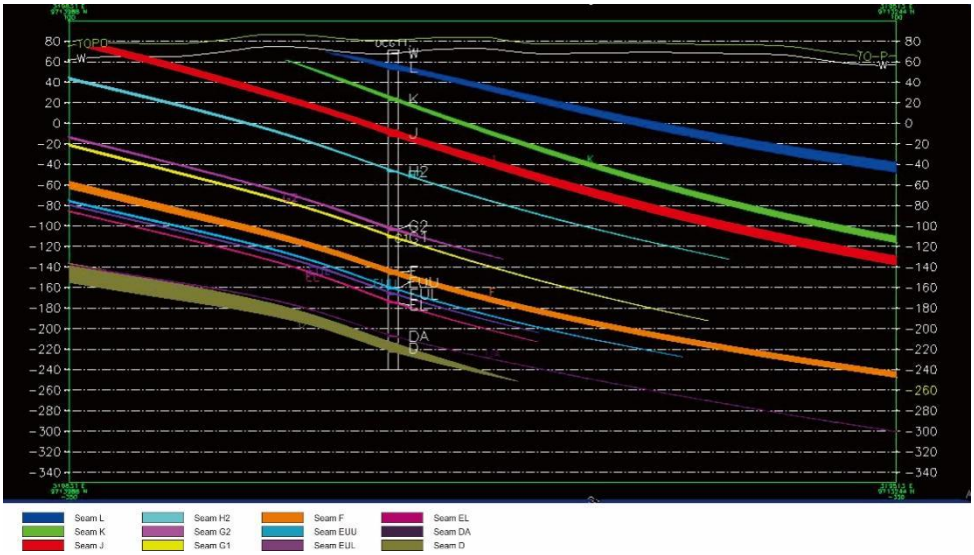
Gambar 11. Garis Penampang 6



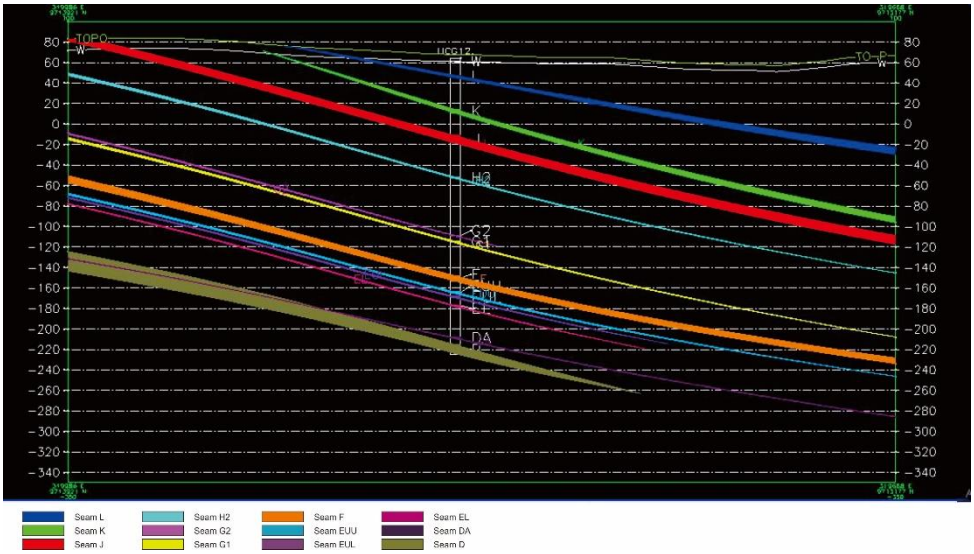
Gambar 12. Garis Penampang 7



Gambar 13. Garis Penampang 8



Gambar 14. Garis Penampang 9



Gambar 15. Garis Penampang 10

PEMBAHASAN

Setelah pembuatan *intersection* yang berfungsi untuk membuat *block* dan *strip* yang nantinya akan diubah menjadi solid, dilakukan estimasi sumberdaya dari setiap *seam* yang nantinya akan memunculkan hasil dalam bentuk tabel di setiap *batterblock* (solid). Semakin banyak *batterblo*ck solid yang dibuat, semakin banyak pula hasil *batterblock solid* yang diperoleh. Banyak-tidaknya solid tidak mempengaruhi hasil estimasi, dan jika ada, hanya perbedaan yang sangat tipis. Hal ini disebabkan estimasi *batterblock* solid rapat tidak seperti *cross section* yang masih mempunyai jarak. Besar kecilnya *batterblock* solid hanya digunakan untuk kelanjutan penjadwalan penambangan.

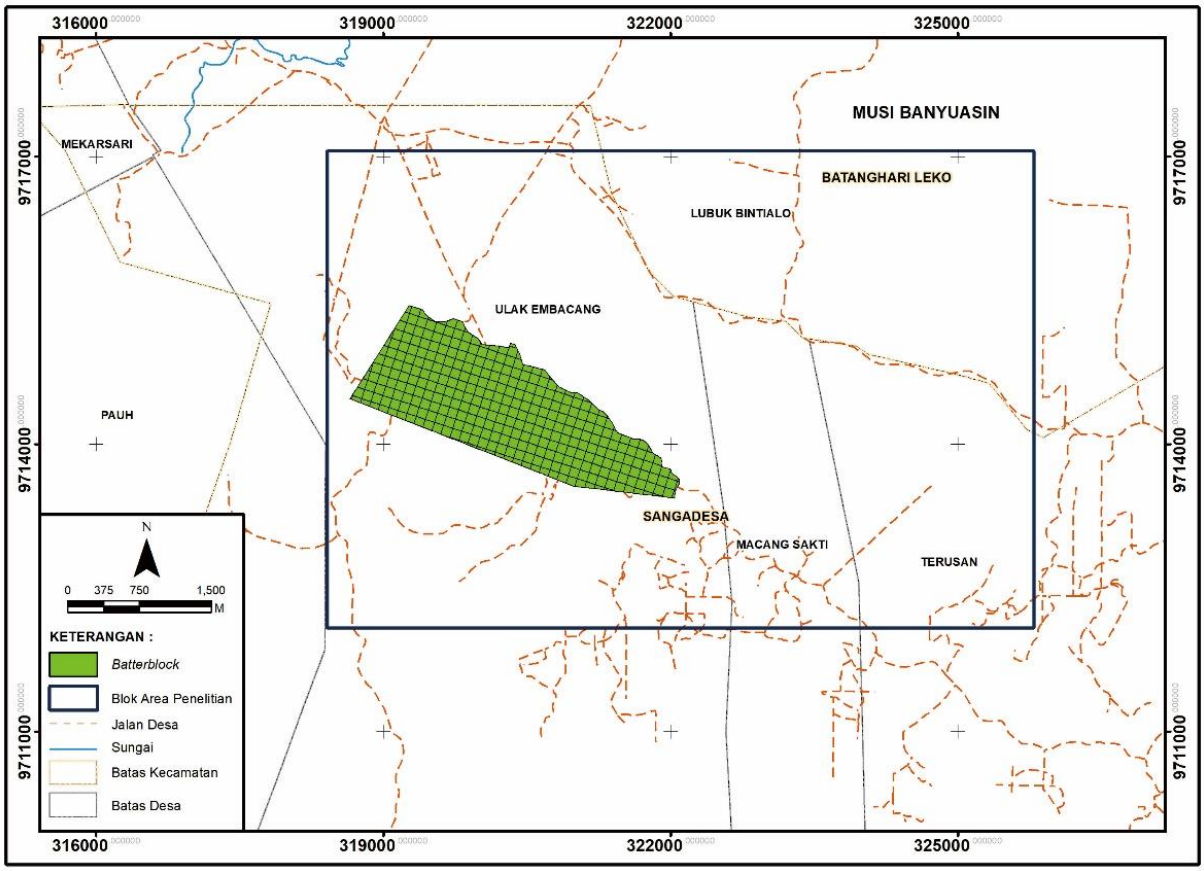
Estimasi dengan metode *batterblock* solid dilakukan pada area persebaran kontur struktur di daerah penelitian, kemudian dibuat blok-blok yang nantinya setiap blok mempunyai nilai nisbah pengupasan sendiri-sendiri. Dari blok-blok yang telah diketahui nilai nisbah pengupasan ini dapat dibuat batasan penambangan berdasarkan nisbah pengupasan yang direkomendasikan perusahaan, yaitu maksimal 1:8.

Optimalisasi Metode *Batterblock* Solid

Optimalisasi blok penambangan dibuat pada area batubara yang potensial untuk ditambang (dalam hal ini adalah kontur *seam* batubara) disebabkan kondisi geologi daerah penelitian tergolong geologi moderat. Blok penambangan ini dirancang dengan tujuan untuk estimasi jumlah cadangan batubara beserta volume total lapisan tanah penutupnya pada setiap dimensi 100 m x 100 m, sehingga dapat diketahui nisbah pengupasan dari masing-masing bloknya.

Estimasi volume lapisan tanah penutup menggunakan estimasi metode blok, yaitu luas blok dikalikan dengan tebal total lapisan tanah penutupnya. Sedangkan untuk estimasi sumberdaya batubara adalah luas blok dikalikan dengan tebal total batubara dan dikalikan lagi dengan densitas batubara, sehingga didapat jumlah tonase batubara per blok. Dengan menggunakan estimasi yang sama, maka setiap blok dapat diketahui volume lapisan tanah penutup, tonase batubara, dan nisbah pengupasan.

Pada Gambar 16, dimensi *batterblock* ini adalah 100 m x 100 m dengan luas 300.54 ha. Jika *batterblock* hanya dua dimensi (2D), maka bentuk solid menampilkan gambar tiga dimensi (3D). Hasil dari bentuk solid inilah yang akan diestimasi sumberdaya batubara dan lapisan tanah penutupnya, serta nilai nisbah pengupasan per blok dengan ukuran permukaan 100 m x 100 m dan kedalaman atau tinggi blok yang dibatasi oleh *seam* terbawah (*floor*) dari lapisan batubara.



Gambar 16. *Batterblock*

Batasan *Pit* (*Pit Limit*)
Batasan *pit* merupakan batasan maksimal nisbah pengupasan yang telah ditetapkan oleh perusahaan, yaitu sebesar 1:8, yang berarti untuk pengupasan batubara sebanyak 1 ton diharuskan mengupas lapisan tanah penutup sebanyak 8 bcm. Dengan demikian, bagian area yang memiliki nisbah pengupasan lebih besar daripada 8 tidak layak untuk ditambang.

Batasan *pit* dengan rencana penambangan nisbah pengupasan sebesar 8 ini yang digunakan sebagai dasar pembuatan *pit limit* area. Setelah dilakukan pemodelan blok dan estimasi volume tiap-tiap blok, tahap selanjutnya adalah melakukan optimasi desain *pit* dengan menentukan batas *pit* yang optimal. Penentuan batas *pit* terlebih dahulu dengan membuat tabulasi berisi volume lapisan tanah penutup dan tonase batubara yang bertujuan untuk memberikan nilai nisbah pengupasan pada tiap blok. Optimasi hanya dilakukan dengan menggunakan aplikasi Microsoft Excel yang dihasilkan dari estimasi volume model blok yang sebelumnya telah dibuat. Data yang diperlukan untuk menentukan batas *pit* adalah nama-nama setiap blok, volume total tiap-tiap blok, tonase batubara, dan volume total lapisan tanah penutup.

Optimalisasi desain *pit* dengan aplikasi Microsoft Excel akan memudahkan untuk membatasi blok-blok yang memiliki batasan nisbah pengupasan yang direncanakan. Selain itu juga memudahkan untuk mendapatkan taksiran nilai nisbah pengupasan pada desain *pit* yang akan dibuat. Nilai nisbah pengupasan yang direncanakan nisbah pengupasan yaitu di bawah 8. Daerah yang memiliki taksiran nilai nisbah pengupasan yang telah ditentukan perusahaan ditunjukkan oleh blok-blok area dengan warna biru yaitu blok yang mempunyai nilai kurang dari 8. Langkah selanjutnya menentukan batas *pit* yang optimal dengan cara menyatukan blok-blok tersebut ke dalam perencanaan desain *pit* dengan bantuan sistem komputer.

Hasil Estimasi Sumber Daya, Cadangan dan Nisbah Pengupasan
Metode poligon digunakan untuk estimasi sumber daya batubara, yaitu dengan cara estimasi luas dari per-blok solid. Estimasi tersebut dilakukan dengan menentukan batasan yang menjadi parameter estimasi, batasan untuk mengestimasi volume batubara, serta total *waste* berupa topografi *(surface)* sebagai batas atas dan desain *pit* sebagai batas bawah. Estimasi solid pada blok akan dipisahkan antara jumlah volume blok keseluruhan, massa batubara dan volume lapisan tanah penutup yang dibongkar. Dalam penelitian ini digunakan blok solid bernama BB__(Nama Blok), yang memuat:
“Code”, menunjukkan kodefikasi lapisan tanah yang terdiri dari volume tanah penutup dan tonase batubara pada 20 titik bor;
“OB”, menunjukkan volume tanah penutup, BCM;
“Coal”, menunjukkan tonase batubara, MT; dan
“SR”, menunjukkan angka perbandingan volume tanah penutup dengan tonase batubara

Hasil estimasi pada 20 titik bor yang berada di daerah penelitian (Gambar 3), diperoleh nilai sumber daya batubara terukur (yang ditentukan berdasarkan jarak antar titik bor di bawah 200 m (SNI 5015:2019) dan adanya kemenerusan lapisan batubaranya), yaitu sebesar 187.840.820 MT dengan lapisan tanah penutupnya sebesar 167.084.176 BCM seperti terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Estimasi Sumber Daya dan Cadangan Batubara

No	Parameter	Satuan	Sumber Daya Terukur	Cadangan Terbukti
1	Volume Batubara	M^3	144.492.939	64.959.444
2	Tonase Batubara	MT	187.840.820	84.447.277
3	Volume Tanah Penutup	BCM	167.084.176	280.320.139

Sumber: Husni, 2024. diolah kembali

Adapun nilai nisbah pengupasan hasil estimasi cadangan adalah:

Nisbah pengupasan = Volume lapisan tanah penutup : Tonase batubara
= 280.320.139 : 84.447.277 = 3,3

Dengan nisbah pengupasan sebesar 3,3, berarti angka ini berada di bawah rekomendasi perusahaan, yaitu maksimal 8,0. Ini menunjukkan batasan *pit* tersebut layak untuk didesain karena diperkirakan akan menguntungkan perusahaan.

Desain Penambangan

Dalam melakukan kegiatan penambangan, geometri suatu lereng seperti tinggi dan kemiringannya perlu ditentukan untuk mengoptimalisasikan penggalian batubara, serta tetap memperhatikan keselamatan kerja (Supandi dkk, 2023). Faktor utama penentu geometri lereng adalah struktur geologi, sifat fisik dan mekanik batuan, serta kondisi air. Geometri lereng yang akan ditentukan meliputi lereng individu (*single slope*) dan kemiringan lereng keseluruhan (*overall slope*).

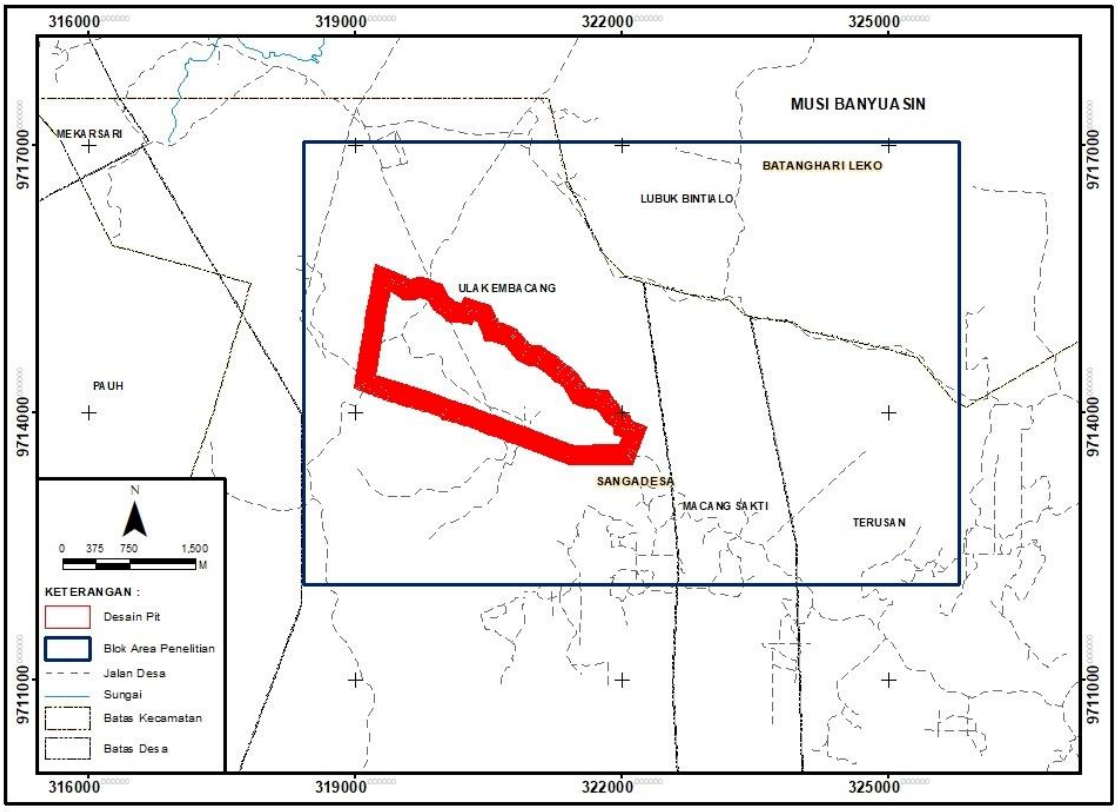
Berdasarkan rekomendasi perusahaan/pengembang ditentukan geometri desain *pit*, yaitu sudut lereng tunggal 60° untuk *high wall* dan *side wall*. Sedangkan untuk *low wall* mengikuti perlapisan batubara dan untuk *overall slope* adalah 46˚. Lebar setiap jenjang ditentukan sebesar 5 meter, kemiringan jalan 8%, dan tinggi jenjang adalah 10 meter. Dari data rekomendasi tersebut dihasilkan *pit* dengan penambangan pada elevasi ±100 pada kontur batubara hingga elevasi pada daerah topografi.

Parameter geometri desain *pit* dipilih tergantung pada target produksi dan jenis peralatan yang digunakan. Dimensi jenjang harus mampu menjamin kelancaran aktivitas alat mekanis agar efisien dan menjamin keamanan di daerah penambangan. Standar parameter geometri untuk lebar dan tinggi jenjang tergantung kepada jenis alat mekanis; semakin besar dan berat alat yang digunakan, maka tinggi dan lebar jenjang akan lebih besar. Kemiringan (*grade*) jalan diperkirakan maksimal 10%, jika lebih besar daripada 10% dikhawatirkan akan menyulitkan alat mekanis menempuh jalan tersebut, serta konsumsi bahan bakar akan lebih besar dikarenakan jalan yang terlalu menanjak. Kemiringan jenjang yang terlalu tinggi akan memperkecil faktor keamanan jenjang tersebut, maka pemilihan kemiringan lereng tergantung pada struktur geologi, sifat fisik dan mekanik batuan serta air.

Perubahan dari sumber daya batubara terukur menjadi cadangan batubara dengan mempertimbangkan:

a. faktor teknis, berupa nisbah pengupasan sebesar 3 yang berada di bawah ketentuan perusahaan sebesar 8, *overall slope* 46°, lebar jenjang 5 m, kemiringan jalan maksimal 10%, tinggi jenjang 10 m elevasi tertinggi 88 m, kedalamam *pit* 182 m, luas areal *pit* 300,54 Ha;
b. faktor non-teknis: berupa keekonomian, lingkungan, sarana dan prasarana, dan lain-lain, mengikuti ketentuan yang berlaku di perusahaan pada saat studi ini dilakukan.

Berdasarkan kedua pertimbangan tersebut, maka jumlah cadangan batubara pada lokasi penelitian seperti tercantum pada Tabel 2.



Gambar 17. Desain *Pit*

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh hasil sebagai berikut:

1. Estimasi volume cadangan batubara terbukti 64.959.444 M^3 atau tonasenya 84.447.277 MT, dan total volume lapisan tanah penutup 280.320.139 BCM.
2. Nilai akhir nisbah pengupasan (*stripping ratio*) pada *pit* yang direncanakan adalah 3,3 sehingga memenuhi syarat nilai batas ekonomis yang ditetapkan perusahaan sebesar 8.
3. Setelah dibuat desain *pit* didapat *pit limit* rekomendasi untuk perusahaan, dengan elevasi tertinggi ± 88 M, kedalaman *pit* ± - 182 M, dan luas area *pit* sebesar 300,54 Ha.

DAFTAR PUSTAKA

Arif, I., 1996. Diktat Kuliah: Tambang Terbuka. Institut Teknologi Bandung: Bandung

Bargawa, W. S. 2010. Perencanaan Tambang Edisi Kelima. Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jogyakarta: Yogyakarta.

Bargawa, W. S. 2018. Perencanaan Tambang Edisi Kedelapan. Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jogyakarta: Yogyakarta.

Bombang H., Balfas M.D, Trides T. 2020. Estimasi Cadangan Batubara Tertambang Dengan Menggunakan Metode Triangular Grouping Pada Pit 6 PT Arini Kabupaten Kutai Kartanegara Provinsi Kalimantan Timur. Jurnal Teknologi Mineral UNMUL.

De Coster, G.L. 1974. The Geology of The Central and South Sumatra Basin. Indonesian Petroleum Association 3rd Annual Convention. Jakarta.

Husni, M. 2024. Pemodelan *Pit* Penambangan Batubara Berdasarkan Penentuan *Batterblock* pada Perusahaan Tambang Batubara di Sanga Desa,

Kabupaten Musi Banyuasin, Sumatera Selatan. Skripsi Sekolah Tinggi Teknologi Mineral Indonesia. Bandung.

Jevino, G., Shalaho, D.D., & Umar, H. 2019. Perancangan *Pit* S17GS Pada PT. Kitadin Site Embalut Kecamatan Tenggarong Seberang, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur. Jurnal Teknologi Mineral FT UNMUL, Vol. 7, No. 2, Desember 2019: 12 -19.

Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 26 Tahun 2018, tentang Pelaksanaan Kaidah Pertambangan yang Baik dan Pengawasan Pertambangan Mineral dan Batubara. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Jakarta.

Shell Mijnbouw., 1978, Explanatory Notes To The Geological Map Of The South Sumatera Coal Province, Exploration Report.

Standar Nasional Indonesia SNI 5015:2019, Tahun 2019. Pedoman Pelaporan Hasil Eksplorasi, Sumber Daya, dan Cadangan Batubara. Badan Standardisasi Nasional 2019.

Supandi, Hidayatullah Sidiq, Bayurohman Pangacella Putra. 2023. Buku Ajar Perencanaan Tambang. Yogyakarta.

Ventyx Minescape versi 5.7.www.tokopedia.com/minerosoft virtual

UCAPAN TERIMA KASIH

Dewan Redaksi mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada para editor dan mitra bestari atas kerjasamanya dalam proses review lima makalah untuk edisi kesatu Buletin Sumber Daya Geologi tahun 2025. Secara khusus, kami mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bestari yang berkontribusi sesuai keahliannya, antara lain Prof. Mega Fatimah Rosana, M.Sc, Ph.D, Prof. Euis Tintin Yuningsih, M.Sc, Ph.D, Prof. Binarko Santoso, M.Sc, Dr.Eng, Ir. Agus Didit Haryanto, M.T, Dr. Ir. Rukmana Nugraha Adhi, DEA, Ir. Sabtanto Joko Suprapto, M.T, Ir. Bambang Pardiarto, Ir. Teuku Ishlah, Ir. Dwi Nugroho Sunuhadi dan Dr.rer.nat. Ernowo, ST, MT.

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 dalam proses penyusunan dan penerbitan Buletin Sumber Daya Geologi Volume.20 Nomor.1, Tahun 2025. Semoga hadirnya 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 20 Nomor 1 Tahun 2025 ISSN 1907-5367, eISSN 2580-1023

INDEKS PENULIS

Adi Hardiyono
Universitas Padjadjaran, Bandung, Indonesia
Email: adi.hardiyono@unpad.ac.id

Alan Matano
PT Trimegah Bangun Persada, Halmahera Selatan, Indonesia
Email: maftukhaalf05@gmail.com

Alfend Rudyawan
Institut Teknologi Bandung, Indonesia
Email: alfend@geodin.net

Andre Rahmat Al Ansory
Program Studi Geofisika, Jurusan Fisika, Universitas Bengkulu
Email: andrerahmat56@gmail.com

Aton Patonah
Universitas Padjadjaran, Bandung, Indonesia
Email: a.patonah@unpad.ac.id

Basdiki Hasugian
Program Studi Geofisika, Jurusan Fisika, Universitas Bengkulu
Email: basdikki338@gmail.com

Benny Bensalman
Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung, Indonesia
Email: bensaman@gmail.com

Dadan Wildan
Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung, Indonesia
Email: dadanwildan2000@yahoo.com

Darsa Permana
Sekolah Tinggi Teknologi Mineral Indonesia, Bandung, Indonesia
Email: darsapermana51@gmail.com

Della Zakia Soleha
Program Studi Geofisika, Jurusan Fisika, Universitas Bengkulu
Email: dzakiasholeha@gmail.com

Dwiky Septa Kurniawan
Sekolah Tinggi Teknologi Mineral Indonesia, Bandung, Indonesia
Email: dwikysk17@gmail.com

Eliana Trisusanti
Universitas Padjadjaran, Bandung, Indonesia
Email: eliana19001@mail.unpad.ac.id

Husni Muhammad Awad
Sekolah Tinggi Teknologi Mineral Indonesia, Bandung, Indonesia
Email: awadhusni146@gmail.com

Jessica Agnes Soroinama Gea
Program Studi Geofisika, Jurusan Fisika, Universitas Bengkulu
Email: jessicagea762@gmail.com

Lia Novalia Agung
Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi, Indonesia
Email: lianovaagung@gmail.com

M. Hafid Rahadi
PT Bumi Suksesindo, Indonesia
Email: mochammad.rahadi@merdekacoppergold.com

Maftukha Alfiani
Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung, Indonesia
Email: maftukhaalf05@gmail.com

Meno Hardianza
Program Studi Geofisika, Jurusan Fisika, Universitas Bengkulu
Email: menohardianza@gmail.com

Muchammad Farid
Program Studi Geofisika, Jurusan Fisika, Universitas Bengkulu
Email: mfarid@unib.ac.id

BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI

Volume 20 Nomor 1 Tahun 2025 ISSN 1907-5367, eISSN 2580-1023

INDEKS PENULIS

Muhammad Lugas Sujatmoko
Institut Teknologi Bandung, Indonesia
Email: lugasmuhammad61@gmail.com

Ravi Yuliansyah Pratama
Sekolah Tinggi Teknologi Mineral Indonesia, Bandung, Indonesia
Email: ravyjuliansyah@gmail.com

Refrizon
Program Studi Geofisika, Jurusan Fisika, Universitas Bengkulu
Email: refrizon@unib.ac.id

Rina Maesaroh
Program Studi Geofisika, Jurusan Fisika, Universitas Bengkulu
Email: rinamaesaroh57@gmail.com

Trisna Suntara
PT Bumi Suksesindo, Indonesia
Email: trisna.suntara@merdekacoppergold.com

Yan Rizal
Institut Teknologi Bandung, Indonesia
Email: yanrizal@geologi.itb.ac.id

BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI

Volume 20 Nomor 1 Tahun 2025 ISSN 1907-5367, eISSN 2580-1023

INDEKS KATA KUNCI

Air Putih 47-49, 51, 53-56
Alterasi 1-17, 38, 45, 48,54, 55
Analytical Spectral Devices 1, 2, 4, 9
Arinem 37-46
Batubara 1, 16, 19,34, 37, 47, 57-63, 65, 67, 69-73
Batterblock Solid 57, 60, 68, 69
Batuan Dasar 19, 20, 21, 23, 25-28, 32-34
Corescan 1, 2, 4, 9, 10, 14, 15
Epitermal Sulfidasi Tinggi 1, 2, 15, 16
Geokimia 19, 21, 23, 25-29, 31, 33, 34, 35
Geology 16, 34, 37, 38, 39, 41, 42, 43, 45, 72
Hydrothermal Alteration 17, 37, 38, 40, 42, 44, 45
Magnetotelurik 47, 48, 49, 50, 52, 53, 56
Mineralisasi 1-3, 5-7, 9, 11-13, 15, 17, 35, 37, 38, 45, 50, 52, 55, 56
Minescape 57-59, 61-63, 65, 73
Model blok 57, 60, 70
Morfologi 19, 21, 23, 24, 29, 32, 34, 48, 50
Nikel laterit 19, 20, 21, 23, 25-27, 29, 31-35
Nisbah pengupasan 57, 58, 60, 61, 63, 68-72
Panas bumi 1, 16, 19, 34, , 37, 47-57
Pantai Loji 19
Resistivitas 47, 49-55
Structure-control mineralization 1
Tumpangpitu 1-4, 7, 16, 17
ZondMT 47, 48, 50

BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI

Terbit : Mei 2025 ISSN 1907-5367, eISSN 2580-1023

Maftukha Alfiani[1], Dadan Wildan[1], Benny Bensaman[1], M. Hafid Rahadi[2], Trisna Suntara[2], Lia Novalia[3]
([1]Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung, Indonesia; [2]PT Bumi Suksesindo, Indonesia; [3]Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi, Indonesia)

KARAKTERISTIK ALTERASI DAN MINERALISASI BERDASARKAN PENGAMATAN INTI BOR DENGAN METODE ANALYTICAL SPECTRAL DEVICES (ASD) DAN CORESCAN DI AREA PIT A DAN PIT C DAERAH TUMPANGPITU, KABUPATEN BANYUWANGI, JAWA TIMUR

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Mei 2025 Vol. 20 No. 1 Hal. 1-17

DOI: https://doi.org/10.47599/bsdg.v20i1.487

Daerah penelitian terletak di dalam wilayah Izin Usaha Pertambangan-Operasi Produksi (IUP-OP) milik PT Bumi Suksesindo di daerah Tumpangpitu, Kecamatan Pesanggaran, Kabupaten Banyuwangi, Jawa Timur. Penelitian ini mencakup dua area yaitu *Pit* A dan *Pit* C. Di daerah Tumpangpitu terdapat tipe deposit bijih emas epitermal sulfidasi tinggi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui jenis litologi, alterasi, mineralisasi, dan tipe deposit bijih pada daerah penelitian. Metode penelitian yang digunakan meliputi pemerian inti pengeboran pengukuran *analytical spectral devices* (ASD), *corescan,* dan analisis mineragrafi. Penelitian dilakukan menggunakan data 10 inti bor yaitu, GTD-719, GTD-727, GTD-728, GTD-735, GTD-778, GTD-781, GTD-782, GTD-785, GTD-786 dan GTD-792. Hasil korelasi lubang bor daerah penelitian menunjukkan bahwa litologi tersusun oleh vulkanik andesit, breksi preatomagmatik *phase* 1, vulkanik dasit, diorit, breksi preatomagmatik *phase* 2, dan kubah intrusi dasit. Berdasarkan himpunan mineral ubahan, pH, dan temperatur terdapat 7 zona alterasi yaitu, silika, silika ± alunit, pirofilit ± diaspor ± alunit, alunit ± pirofilit ± dickit ± kaolinit, alunit ± kaolin, kaolinit ± dickit ± monmorillonit-illit, klorit ± monmorillonit-illit. Mineralisasi yang dijumpai berupa pirit (FeS_2), enargit (Cu_3AsS_4) dan sfalerit ((ZnFe)S). Tipe deposit daerah penelitian adalah deposit epitermal sulfidasi tinggi dengan kedalaman 500-1.000 meter (*intermediet*).

Kata kunci: Alterasi, mineralisasi, epitermal sulfidasi tinggi, analytical spectral devices, corescan, Tumpangpitu

Eliana Trisusanti[1], Aton Patonah[1], Adi Hardiyono[1], dan Alan Matano[2]
([1]Universitas Padjadjaran, Bandung, Indonesia; [2]PT Trimegah Bangun Persada, Halmahera Selatan, Indonesia)

KARAKTERISTIK FISIK, GEOKIMIA DAN SEBARAN ENDAPAN NIKEL LATERIT DAERAH LOJI BEACH, PULAU OBI, KABUPATEN HALMAHERA SELATAN, PROVINSI MALUKU UTARA

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Mei 2025 Vol. 20 No. 1 Hal. 19-35

DOI: https://doi.org/10.47599/bsdg.v20i1.523

ndonesia merupakan salah satu negara penghasil nikel terbesar di dunia. Salah satu daerah penghasil nikel di Indonesia berada di daerah *Loji Beach* yang menjadi daerah penelitian. Daerah penelitian ini terletak di Pulau Obi, Kabupaten Halmahera Selatan, Provinsi Maluku Utara. Secara geologi, daerah penelitian tersusun oleh batuan ultramafik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik nikel laterit dan hubungannya dengan kondisi geologi di daerah penelitian dengan menggunakan metode petrografi sampel batuan dan geokimia XRF *(X-Ray Fluorescence)* sampel hasil pemboran. Data geokimia berupa kadar Ni dari data bor diinterpolasi dengan metode IDW menggunakan *software ArcGIS*. Berdasarkan hasil penelitian, Ni-laterit melimpah pada morfologi perbukitan landai dengan kemiringan lereng 0-7%. Batuan dasar pembawa Ni-laterit diduga berasal dari serpentinit dari hasil serpentinisasi harzburgit dan dunit. Berdasarkan analisis petrografi, batuan dasar tersusun oleh serpentin >85%, sisanya adalah relik mineral olivin dan ortopiroksen, serta mineral-mineral lainnya seperti talc, mineral oksida dan opak. Hasil analisis geokimia menunjukkan bahwa pada zona limonit terdapat kelimpahan unsur Fe sedangkan pada zona saprolit unsur Ni terkayakan dengan kadar 1,5%-2,8%.

Kata kunci: Pantai Loji, nikel laterit, geokimia, batuan dasar, morfologi

Alfend Rudyawan, M. Lugas Sujatmoko, dan Yan Rizal (Faculty of Earth Sciences and Technology, Bandung Institute of Technology (ITB), Indonesia)

GEOLOGY AND STRUCTURAL CONTROL ON MINERALISATION OF THE ARINEM AREA, GARUT, WEST JAWA

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Mei 2025 Vol. 20 No. 1 Hal. 37-46

DOI: https://doi.org/10.47599/bsdg.v20i1.518

Exploration by PT Aneka Tambang in 1981 identified several promising mineral prospects in West Java, categorized as low- to high-sulfidation epithermal types. One such prospect is the Arinem area in Garut, which became the focus of this study is still an active area for detailed exploration. Spanning 0.46 km², this area is located 45 km from Garut city.

The data used in this research include field data and core samples from seven boreholes provided by PT ANTAM Tbk drilled in 2011. This study aims to understand the geological and hydrothermal alteration processes of the region using field work measurements, petrographic, mineragraphy, and ASD specTERRA

The study area consists of volcanic and volcaniclastic units, intruded by Pyroxene Andesite and Hornblende Andesite, with prominent hydrothermal alteration zones. The geological structures include the Left-Lateral Arinem Fault and the Right-Normal Arinem Fault, both of which control hydrothermal processes. Sulphide minerals such as pyrite, chalcopyrite, galena, and sphalerite were identified, with quartz veins trending north – south. The results suggest that Arinem is a part of an en-echelon structure arrays part of a larger left lateral strike slip system in West Java that cross-

BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI

Terbit : Mei 2025 ISSN 1907-5367, eISSN 2580-1023

cut by the younger NE – SW dextral faults. This provides crucial insight into the geology, subsurface alteration and mineralization distribution, highlighting its significance for ongoing exploration efforts.

Keywords: Arinem, Geology, Hydrothermal Alteration, Structure-control mineralisation

Della Zakia Soleha, Andre Rahmat Al Ansory, Basdiki Hasugian, Hana Raihana, Muchamad Farid, Refrizon, Rina Maesaroh, Meno Hardianza, dan Jessica Agnes Soroinama Gea
(Program Studi Geofisika, Jurusan Fisika, Universitas Bengkulu)

DELINEASI PROSPEK PANAS BUMI DI KAWASAN WISATA AIR PUTIH KABUPATEN LEBONG BENGKULU MENGGUNAKAN METODE MAGNETOTELURIK

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Mei 2025 Vol. 20 No. 1 Hal. 47-56

DOI: https://doi.org/10.47599/bsdg.v20i1.488

Panas bumi merupakan energi yang terbarukan dan dapat digunakan sebagai cadangan energi di masa mendatang. Riset ini bertujuan menentukan lokasi yang memiliki potensi panas bumi yang ada di kawasan Wisata Air Putih, Kabupaten Lebong, Provinsi Bengkulu berdasarkan nilai resistivitas dengan menggunakan metode magnetotelurik. Nilai resistivitas yang didapatkan bervariasi dari rendah, sedang, dan tinggi yang dapat digunakan sebagai acuan untuk menggambarkan kondisi di bawah permukaan. Pada akuisisi data ini, pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat Magnetotelurik ADU-07e yang memiliki waktu pengukuran selama 16 jam dengan bandwidth frekuensi rendah 128 Hz, bandwidth frekuensi sedang 1024 Hz, dan bandwidth frekuensi tinggi 4096 Hz. Sensor pada perekaman memiliki dua sensor: sensor magnetik dan sensor elektrik. Sensor magnetik terdiri dari 3 buah sensor/coil (Hx, Hy, dan Hz), sedangkan untuk sensor elektrik menggunakan 4 poros pot yang diletakkan secara orthogonal (Ex dan Ey). Berdasarkan hasil pengolahan data menggunakan metode Magnetotelurik dengan software ZondMT, terdapat rentang nilai resistivitas 10-700 (Ωm) yang memberikan informasi struktur lapisan bawah permukaan. Lapisan dengan resistivitas rendah (18-30 Ωm), resistivitas sedang (40-160 Ωm) dan resistivitas tertinggi (>300 Ωm).

Kata kunci: Panas bumi, Magnetotelurik, Resistivitas, ZondMT, Air Putih

Darsa Permana, Dwiky Septa Kurniawan, Husni Muhammad Awad, dan Ravi Yuliansyah Pratama
(Sekolah Tinggi Teknologi Mineral Indonesia, Bandung, Indonesia)

PEMODELAN CADANGAN BATUBARA BERDASARKAN PENENTUAN BATTERBLOCK DI SANGA DESA, MUSI BANYUASIN, SUMATERA SELATAN

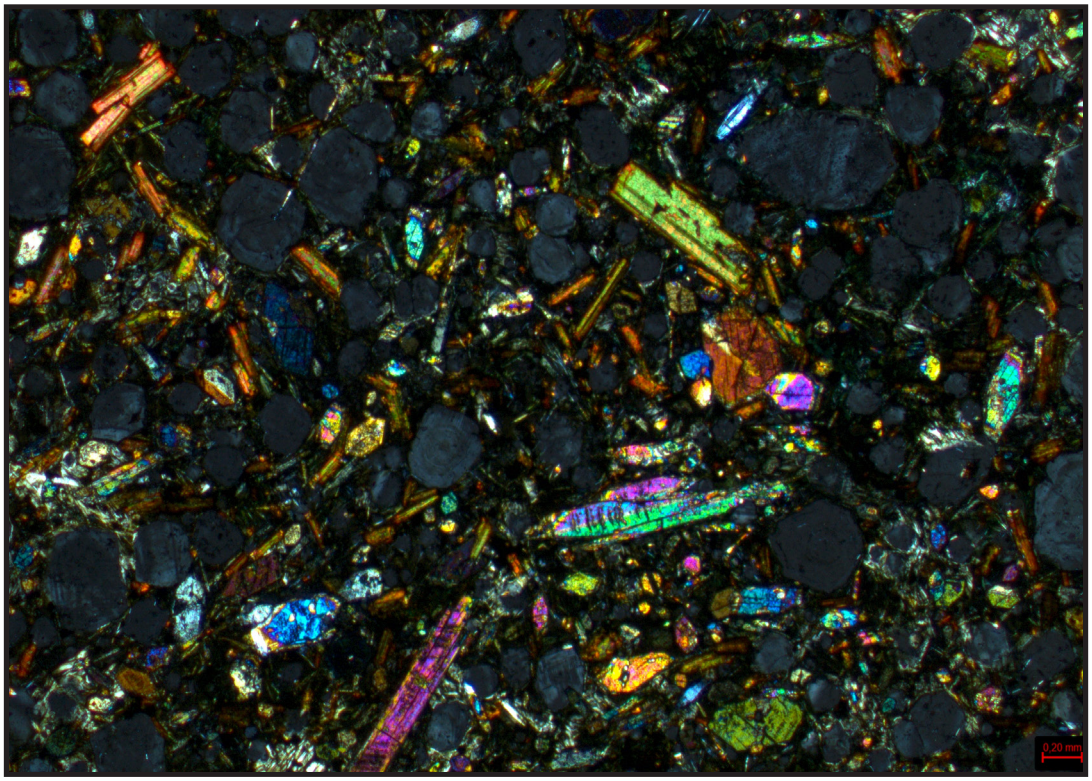
Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Mei 2025 Vol. 20 No. 1 Hal. 57-73

DOI: https://doi.org/10.47599/bsdg.v20i1.516

Estimasi cadangan merupakan upaya untuk mengetahui nilai keekonomisan suatu endapan mineral dan batubara sekaligus sebagai dasar evaluasi keekonomian, apakah daerah yang diteliti layak atau tidak layak untuk ditambang. Penelitian untuk estimasi cadangan dilakukan pada lokasi tambang batubara di daerah Sanga Desa, Musi Banyuasin, Sumatera Selatan. Estimasi dibantu oleh program berbasis komputer, yakni perangkat lunak Minescape 5.7. Penelitian ini menggunakan metode model blok untuk menentukan daerah potensial batubara. Berdasarkan model blok ini dibuat batterblock, sehingga dapat dibuat resgraph yang dapat menentukan daerah potensial yang akan ditambang dengan menggunakan Minescape 5.7 diperoleh estimasi cadangan batubara 84.447.000 MT dan lapisan tanah penutup 280.320.000 BCM, sehingga diperoleh nisbah pengupasan 3,3 dengan luas pit 300,54 ha.

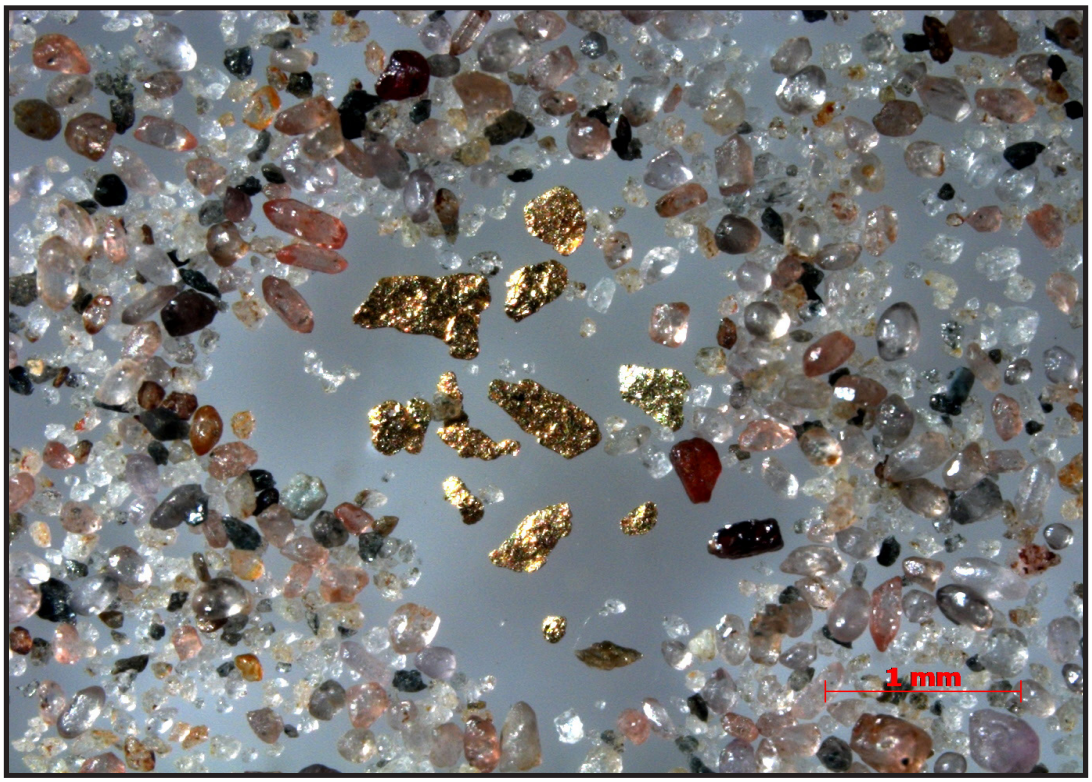
Kata kunci: Batubara, Minescape, Model blok, Batterblock Solid, Nisbah pengupasan



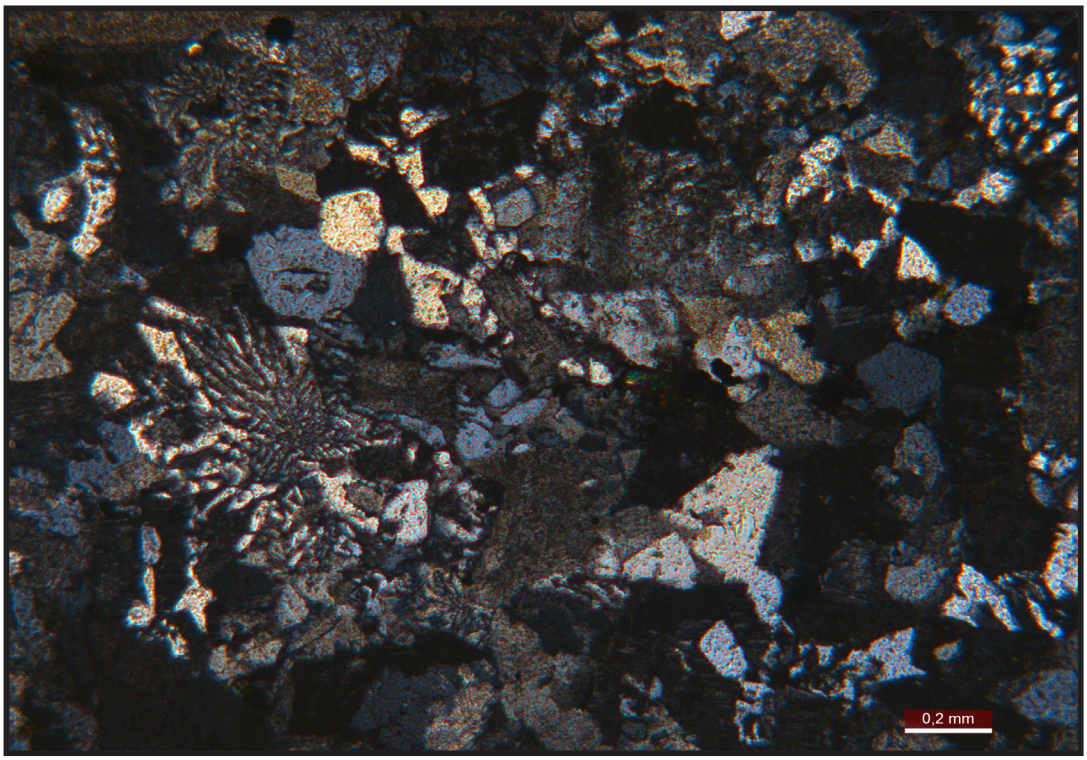
Batuan Foidite, Perbesaran 25x, Mamunyu, Kabupaten Mamuju, Provinsi Sulawesi Barat (Tatik Handayani, 2024)



Butiran Cangkang Kerang dan Fosil pada Sampel Sedimen Laut, Perbesaran 10x, Muntok, Provinsi Bangka (Tatik Handayani 2022)



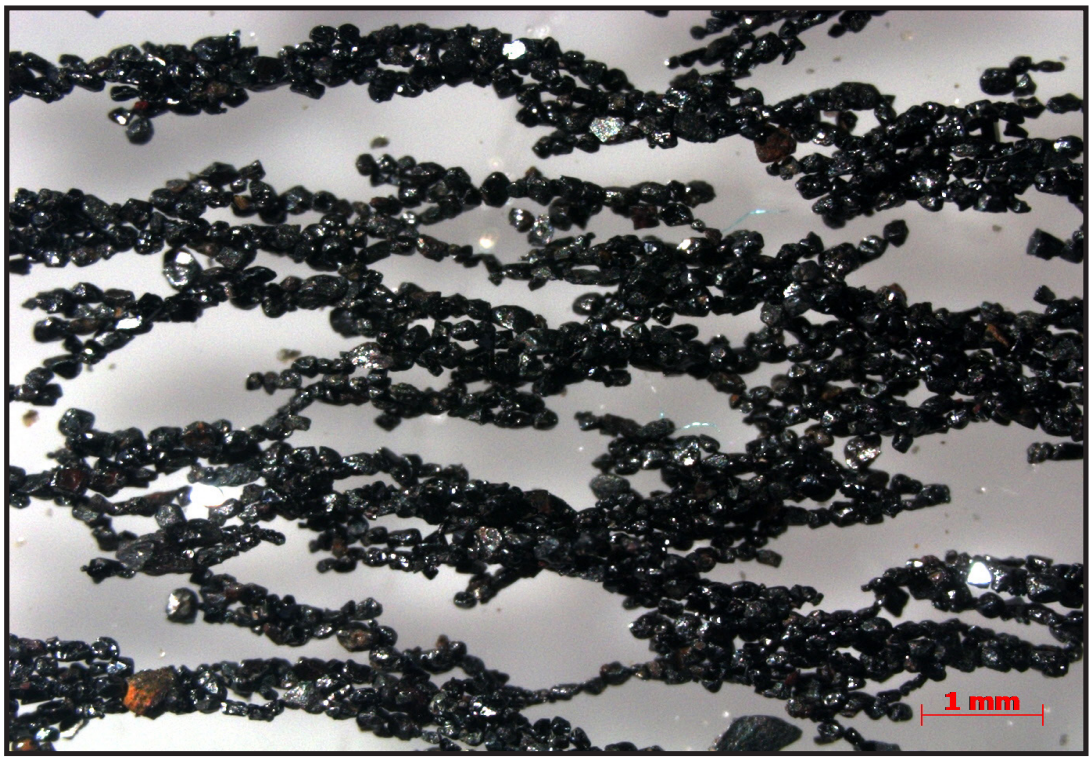
Emas Diantara Butiran Zirkon dan Kuarsa, Perbesaran 32x, Pulau Seram, Provinsi Maluku (Tatik Handayani, 2021)



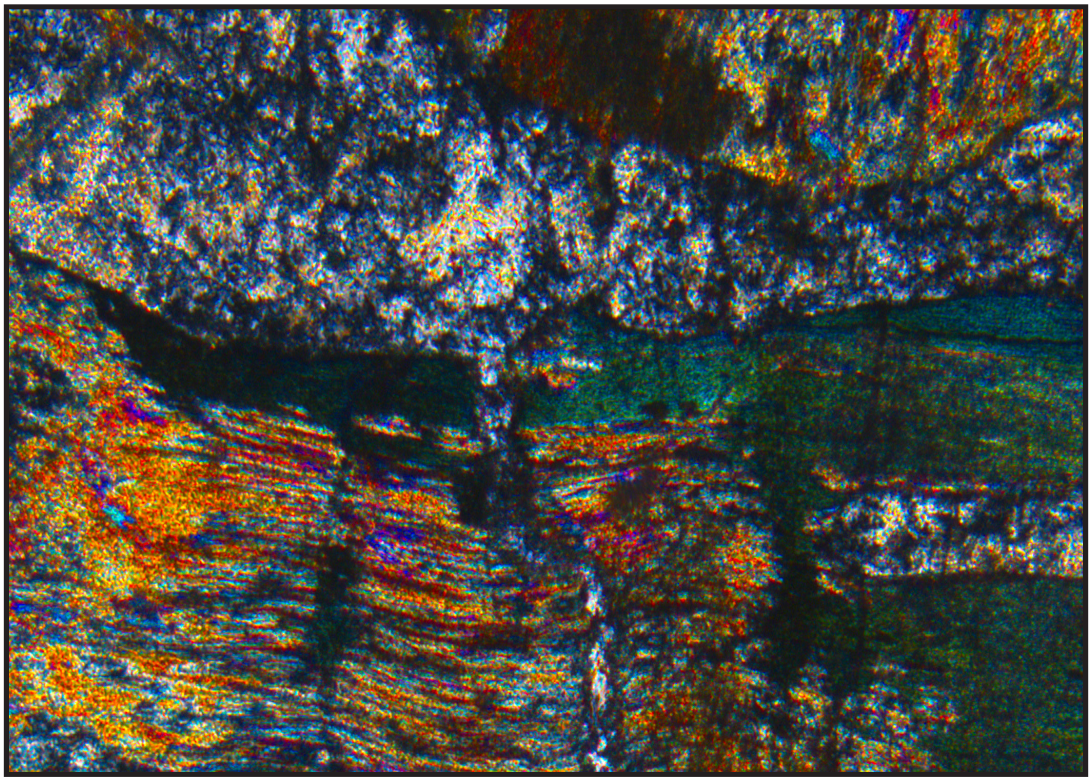
Flower in Granite. Struktur Mirmekitik yang Menunjukkan Struktur Intergrowth Antara Kuarsa dan Feldspar pada Batuan Granit, Perbesaran 50x, Bintan, Provinsi Kepulauan Riau (Tatik Handayani 2023)



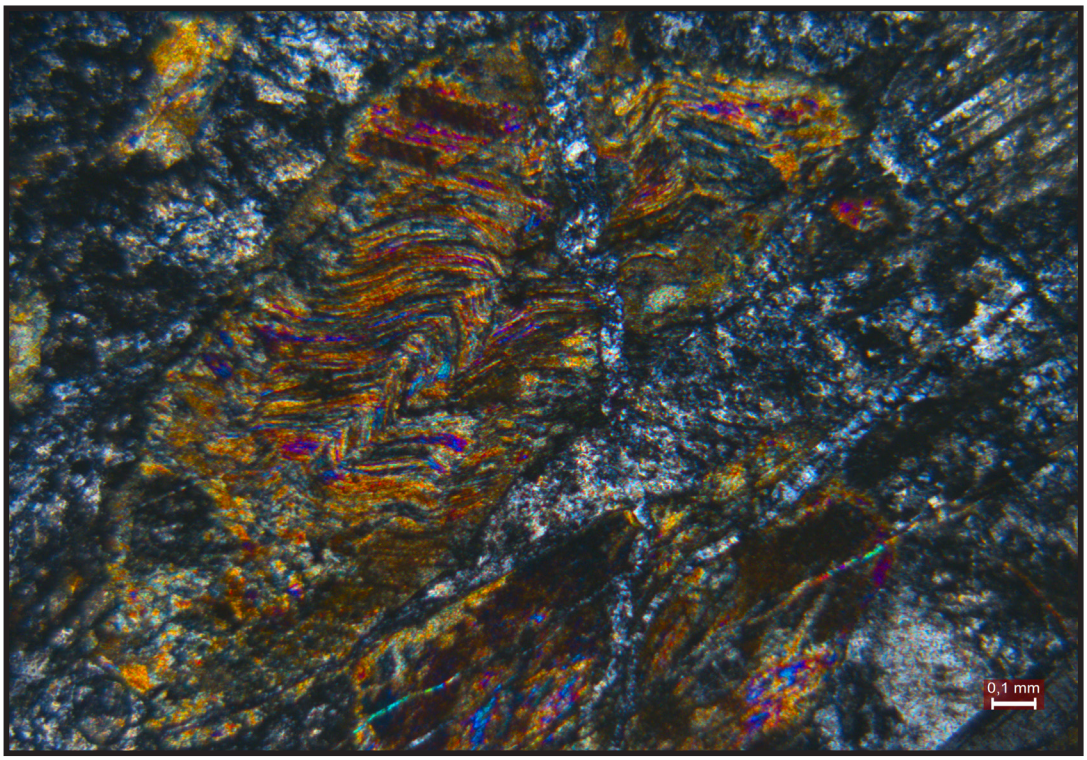
Kuarsa, Perbesaran 20x. Kabupaten Kotawaringin Barat, Provinsi Kalimantan Tengah (Tatik Handayani, 2024)



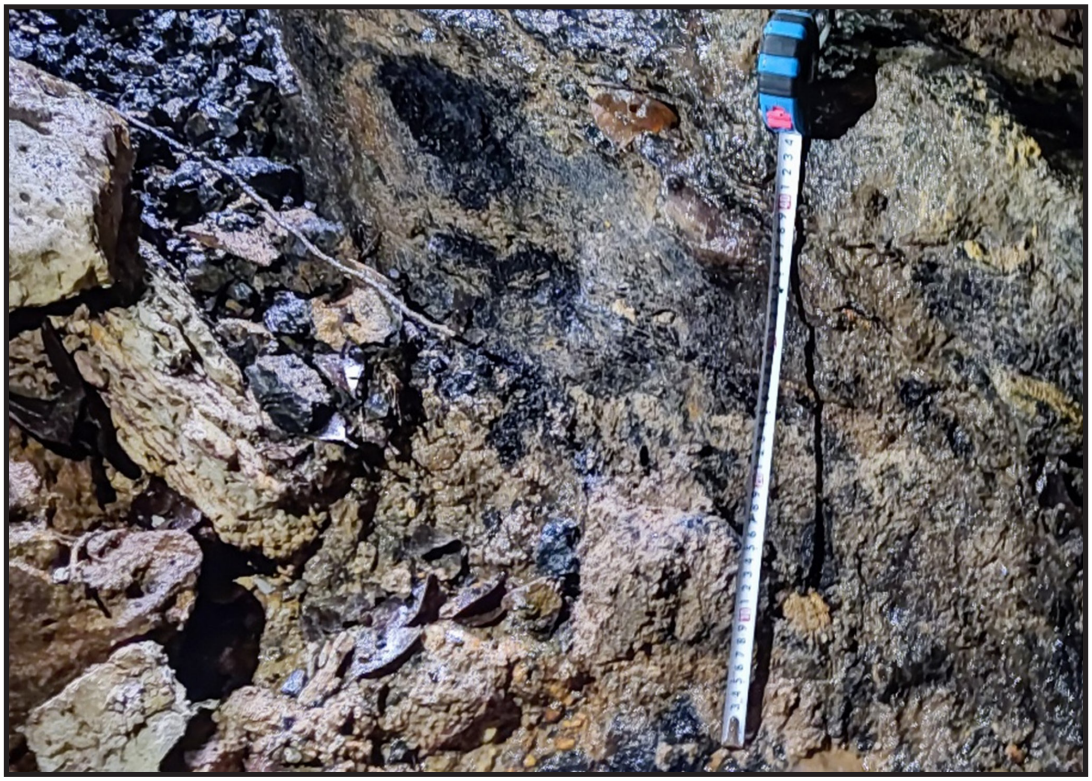
Magnetit, Perbesaran 20x, Pulau Seram, Provinsi Maluku (Tatik Handayani, 2021)



Plagioklas yang Terubah Menjadi Muskovit dan Klorit Memperlihatkan Struktur Lipatan Mikro dan Terpotong oleh Urat Kuarsa, Gabro, Perbesaran 50x, Kabupaten Banggai, Provinsi Sulawesi Tengah (Tatik Handayani, 2021)



Plagioklas yang Terubah Menjadi Muskovit Memperlihatkan Struktur Lipatan Mikro dan Terpotong oleh Urat Kuarsa pada Batuan Gabro, Perbesaran 50x, Kabupaten Banggai, Provinsi Sulawesi Tengah (Tatik Handayani, 2021)



Singkapan Batubara, Muaro Paiti, Kecamatan Kapur IX, Kabupaten Lima Puluh Kota, Provinsi Sumatera Barat (Tim Batubara Kapur IX, 2024)



Singkapan Batubara, Koto Lamo, Kecamatan Kapur IX, Kabupaten Lima Puluh Kota, Provinsi Sumatera Barat (Tim Batubara Kapur IX, 2024)



Singkapan batubara di Daerah Koto Lubuak Alai, Kecamatan Kapur IX,
Kabupaten Lima Puluh Kota, Provinsi Sumatera Barat (Tim Batubara Kapur IX, 2024)



Batubara yang Tersingkap di Sungai, Tanah Siang, Kabupaten Murung Raya,
Provinsi Kalimantan Tengah (Tim Batubara, 2024)



Sampel Batubara, Seribu Riam, Kabupaten Murung Raya, Provinsi Kalimantan Tengah
(Tim Batubara, 2024)



Sampling Radon Tanah di Galunggung, Kota Tasikmalaya, Provinsi Jawa Barat
(Tim Panas Bumi, 2024)



Travertin di Air Panas Citiis Galunggung, Kota Tasikmalaya, Provinsi Jawa Barat (Tim Panas Bumi, 2024)



Gas Kawah Galunggung, Kota Tasikmalaya, Provinsi Jawa Barat (Tim Panas Bumi, 2024)



Kawah Papandayan, Kabupaten Garut, Provinsi Jawa Barat (Tim Panas Bumi, 2024)



Sampling Kawah Emas Papandayan, Kabupaten Garut, Provinsi Jawa Barat
(Tim Panas Bumi, 2024)



Air Panas Kawah Salju Papandayan, Kabupaten Garut, Provinsi Jawa Barat
(Tim Panas Bumi, 2024)



Kawah Baru Papandayan, Kabupaten Garut, Provinsi Jawa Barat (Tim Panas Bumi, 2024)

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, ulas 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** (*Title*)	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, faxcimile serta email.
II	**Abstrak dan *Abstract***	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 *Abstract* tercantum di bawah Abstrak; dan berlaku sebaliknya apabila naskah ditulis dalam bahasa Inggris. Disarankan disertai kata kunci/*keyword* yang ditulis di bawah Abstrak/*Abstract*, terdiri dari 4 hingga 6 kata. *Abstract* atau abstrak yang ditulis di bawah abstrak atau *abstract* menggunakan *italic font*.

III	**Pendahuluan** *(Introduction)*	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** *(Methodology)*	Metode yang digunakan harus spesifik dan jelas, mencakup uji-uji hipotesis atau model-model uji statistik, dapat menghimpun data primer/*sampling*, cara pengukuran dan komputasi.
V	**Hasil dan Pembahasan** (*Results and Discussion*)	Berisi hasil-hasil penyelidikan/penelitian yang disajikan dengan tulisan, tabel, grafik, gambar maupun foto diberi nomor secara berurutan. Hindarkan penggunaan grafik secara berlebihan apabila dapat disajikan dengan tulisan secara singkat. Pencantuman foto atau gambar tidak berlebihan dan hanya mewakili hasil penemuan. Semua tabel, grafik gambar dan foto yang disajikan harus diacu dalam tulisan dengan keterangan yang jelas dan dapat dibaca. *Font* huruf/angka untuk keterangan tabel, gambar dan foto berukuran minimum 6 *point.* 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** (*Conclusions and Recommendation*)	Berisi kesimpulan dan saran dari hasil uji hipotesis tentang penelitian, dan berisi segitiga konsistensi (masalah, tujuan dan kesimpulan).
VII	**Ucapan Terima Kasih** (*Acknowledgements)*	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** (*References*)	Acuan ditulis dengan menggunakan sistem nama tahun, nama penulis/pengarang yang tercantum didahului oleh nama akhir (*surname*), disusun menurut abjad dan judul makalah/karya tulis ditulis dengan huruf miring (*italic font*)

Beberapa contoh penulisan sumber acuan:

Jurnal

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

Buku

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

Bab dalam Buku

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

Prosiding

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

Skripsi/Tesis/Disertasi

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

Informasi dari Internet

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

Wewenang Redaksi

- Redaksi berwenang penuh melakukan penyuntingan atas naskah yang akan dipublikasikan tanpa mengubah subtansi 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: buletinpsdg@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

RISTEK-BRIN

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,

Bambang 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 : https://geologi.esdm.go.id/psdmbp
OJS: https://buletinsdg.geologi.esdm.go.id
Email: buletinpsdg@gmail.com

ISSN 1907-5367
9 771907 536770

eISSN 2580-1023
9 772580 102009