

**IDENTIFIKASI ZONA MINERALISASI BIJIH BESI
MENGUNAKAN METODE POLARISASI TERINDUKSI DI DAERAH ULUSULITI
DAN TANJUNG LIMA KAPAS, SOLOK SELATAN, SUMATRA BARAT**

**IDENTIFICATION OF IRON ORE MINERALIZATION ZONE
USING INDUCED POLARIZATION METHOD AT ULUSULITI
AND TANJUNG LIMA KAPAS AREA, SOUTHERN SOLOK, WEST SUMATRA**

Maharani Sarastika Bodjawati¹, Dzil Mulki Heditama², dan Yudi Aziz Muttaqin²

¹Program Studi Geofisika, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Gadjah Mada,

²Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi
maharani.sarastika.b@mail.ugm.ac.id

ABSTRAK

Daerah Ulusuliti dan Tanjung Lima Kapas, Kecamatan Koto Parik Gadang Diateh, Kabupaten Solok Selatan, Provinsi Sumatra Barat memiliki potensi bijih besi berupa zona mineralisasi yang terbentuk dari adanya batugamping yang diterobos batuan granodiorit. Pengukuran menggunakan metode polarisasi terinduksi dengan konfigurasi dipole-dipole dengan spasi antar elektroda 50 m. Data polarisasi terinduksi yang diukur sebanyak 11 lintasan dengan panjang masing-masing lintasan 1.200 m dan jarak antar lintasan 100 m hingga 300 m. Pemodelan 2D dilakukan untuk menghasilkan penampang resistivitas dan chargeabilitas dari setiap lintasan. Pemodelan 3D dilakukan untuk melihat persebaran zona mineralisasi bijih besi di daerah penelitian baik vertikal maupun horizontal. Pada model resistivitas dan chargeabilitas 2-dimensi, zona mineralisasi bijih besi diperkirakan memiliki nilai resistivitas >500 Ωm dan chargeabilitas >150 milisekon. Nilai-nilai tersebut diasosiasikan sebagai mineral-mineral bijih besi hasil dari alterasi hidrotermal yang terbentuk akibat adanya interaksi antara fluida magmatik dan meteorik yang berasal dari batuan granodiorit, kemudian fluida tersebut berinteraksi dengan batugamping. Hasil dari pemodelan 3-dimensi memperlihatkan kemenerusan zona mineralisasi relatif berarah baratdaya-timurlaut dengan volume sebesar 864.000 m^3 .

Kata kunci: bijih besi, chargeabilitas, mineralisasi, polarisasi terinduksi, resistivitas, zona alterasi

ABSTRACT

The Ulusuliti and Tanjung Lima Kapas area, Koto Parik Gadang Diateh District, South Solok Regency, West Sumatra Province has a potential of iron ore form mineralization zone which is formed from the limestone formation intruded by granodiorite. Induced polarization method measurement was carried out in time domain using a dipole-dipole configuration with a space between the electrodes of 50 m. Induced polarization data was measured as many as 11 lines with a length of each line of 1.200 m and a distance between the line of 100 m to 300 m. 2D modeling was carried out to produce resistivity and chargeability sections of each line. 3D modeling was carried out to identify the distribution of the iron ore mineralization zone in the study area, both vertical and horizontal. In the 2D resistivity and chargeability model, the zone of iron ore mineralization is estimated to have a resistivity value > 500 ohm.m and a chargeability > 150 milliseconds. These values are might be iron ore minerals as a result of hydrothermal alteration formed due to the interaction between magmatic and meteoric fluids originating from granodiorite rock interacts with limestone. The result of the 3D modeling shows

the continuity of the mineralized zone in a relatively southwest-northeast direction with a volume of 864.000 m³.

Keywords: iron ore, chargeability, mineralization, induced polarization, resistivity, alteration zone

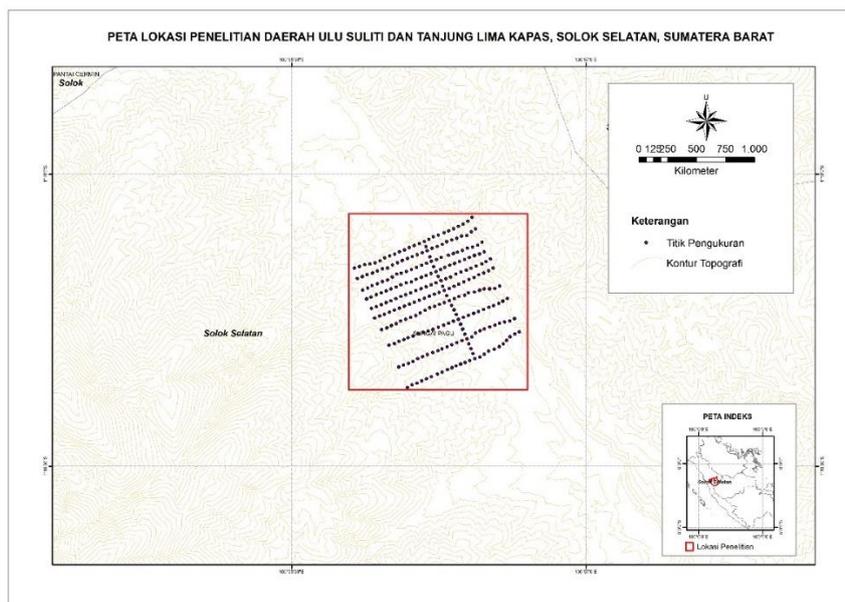
PENDAHULUAN

Indonesia berada pada pertemuan antara tiga lempeng tektonik utama yaitu Lempeng Indo Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik. Kondisi geografis yang cukup kompleks tersebut mengakibatkan terbentuknya berbagai sumber daya mineral yang potensial (Bemmelen, 1949), salah satunya adalah bijih besi. Berdasarkan data neraca sumber daya mineral logam (Heditama dkk., 2019) diketahui bahwa potensi besi di Indonesia dijumpai dalam empat jenis cebakan/endapan, yaitu besi primer, besi laterit, besi sedimen dan pasir besi.

Lokasi penelitian berada di daerah Ulu Suliti dan Tanjung Lima Kapas, Kecamatan Koto Parik Gadang Diateh, Kabupaten Solok Selatan, Provinsi Sumatera Barat (Gambar 1). Kabupaten Solok Selatan memiliki potensi sumber daya mineral logam, khususnya logam besi, yang cukup potensial untuk dikembangkan. Hal ini

disebabkan karena daerah Solok Selatan dikontrol oleh struktur geologi berupa sesar dan aktivitas magmatik, sehingga menghasilkan tubuh-tubuh intrusi batuan beku berupa terobosan batuan granit-granodiorit berumur Kapur Akhir yang menerobos batugamping berumur Perem Awal (Rosidi dkk., 1996). Kondisi geologi tersebut menjadi faktor penunjang proses pembentukan cebakan bijih besi.

Metode polarisasi terinduksi merupakan salah satu metode dalam geofisika, yang tidak jarang menjadi pilihan utama dalam eksplorasi sumber daya mineral. Keunggulan metode ini dibandingkan dengan metode geofisika lainnya adalah kemampuan untuk mendeteksi adanya mineral yang letaknya tersebar (*disseminated*) dan tak teratur karena mineral yang tersebar lebih mudah terpolarisasi akibat arus yang melaluinya. Efek polarisasi tersebut terjadi karena adanya media batuan yang mengandung mineral logam.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian di Daerah Ulu Suliti dan Tanjung Lima Kapas, Solok Selatan, Sumatera Barat (modifikasi dari Muttaqin, 2014)

Dalam penelitian ini, metode polarisasi terinduksi digunakan untuk membuat model berdasarkan parameter resistivitas dan chargeabilitas sehingga dapat memberikan gambaran kondisi bawah permukaan dan informasi zona sebaran mineralisasi bijih besi pada daerah penelitian.

GEOLOGI

Secara fisiografis, Pulau Sumatra merupakan bagian dari Lempeng Eurasia yang berarah baratlaut. Menurut Van Bemmelen (1949), Pulau Sumatra terdiri dari 6 zona fisiografis meliputi:

- Zona Jajaran Barisan
- Zona Semangko
- Zona Pegunungan Tigapuluh
- Zona Kepulauan Busur Luar
- Zona Paparan Sunda
- Zona Dataran Rendah dan Bukit

Secara umum, daerah penelitian termasuk ke dalam Zona Jajaran Barisan pada zona yang berkaitan dengan peristiwa tumbukan dua lempeng besar yaitu Lempeng Indo-Australia di bagian selatan dan Lempeng Eurasia di bagian utara yang diperkirakan terjadi pada masa 15 juta tahun yang lalu sehingga menyebabkan terjadinya arah gaya relatif utara–selatan yang menghasilkan rangkaian struktur sesar geser berarah baratlaut–tenggara. Rangkaian struktur sesar geser tersebut pada akhirnya membentuk sesar besar Sumatra yang dikenal dengan nama Sesar Mendatar Semangko. Proses pergeseran tersebut kemudian menghasilkan zona lemah yang memungkinkan menjadi jalan keluarnya magma pada aktivitas vulkanisme dan menghasilkan Zona Jajaran Barisan.

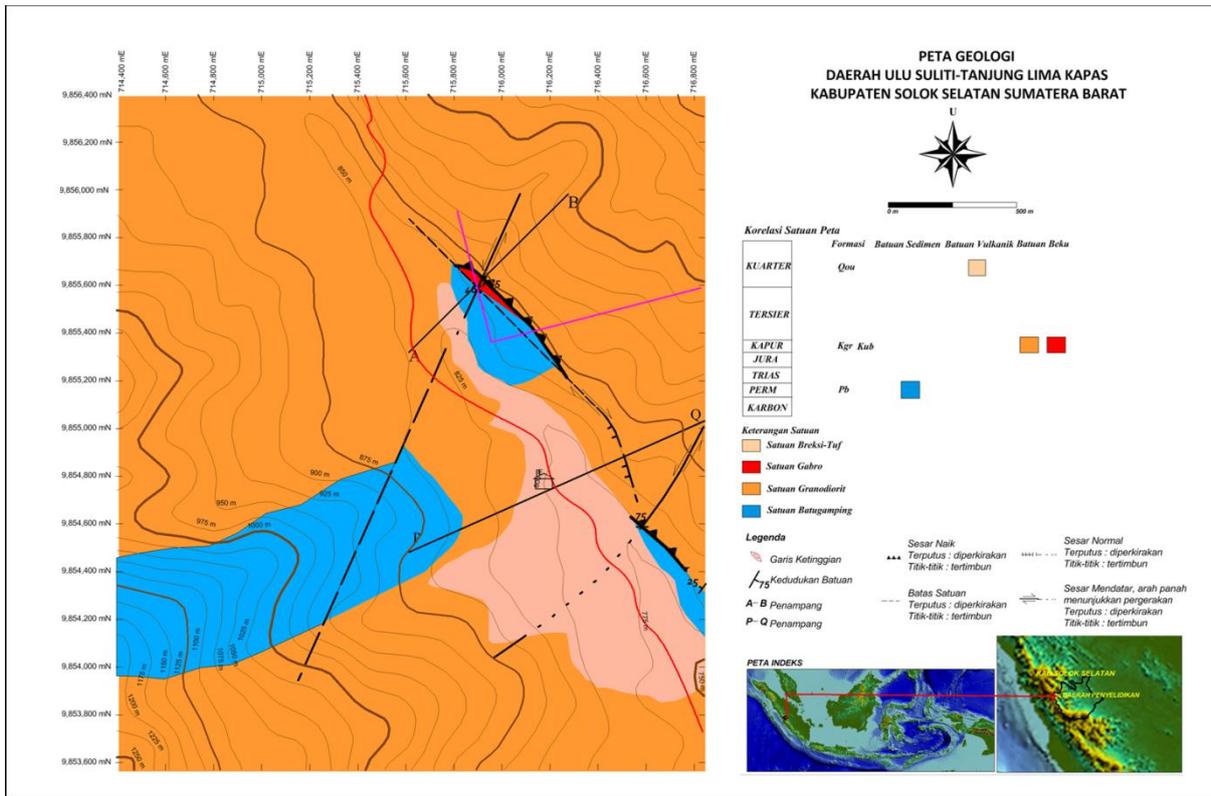
Menurut Franklin (2014), di daerah penelitian terdapat sesar geser mengangan berarah baratlaut–tenggara yang diketahui dari kontak antara gabro dengan granodiorit dan breksiasi pada tuf. Pada daerah penelitian juga terdapat sesar geser mengiri berarah baratdaya–timurlaut yang diketahui dari kontak pada batugamping dengan gabro dan kontak batugamping dengan granodiorit. Pola struktur sesar geser mengiri berarah baratdaya–timurlaut diperkirakan sebagai celah untuk jalannya larutan hidrotermal sehingga terjadi mineralisasi bijih besi bertipe skarn di daerah penelitian.

Stratigrafi pada sekitar daerah penelitian terdiri dari beberapa formasi yang diurutkan dari tua ke muda (Rosidi dkk., 1996) sebagai berikut:

- Formasi Barisan (Pb, Pbl) tersusun atas batugamping, metasedimen, dan batuan metamorf,
- Formasi Siguntur (Ps, Jsl) terdiri atas kuarsit, serpih, dan batu sabak yang sebagian bersentuhan secara tektonik dengan Formasi Barisan, dan
- Formasi Painan (Tomp) terdiri atas batuan Oligo-Miosen berupa gunungapi dan batuan sedimen berumur Miosen Awal.

Menurut Franklin (2014), terdapat empat satuan batuan yang penamaannya didasarkan pada litologi yang paling dominan muncul dengan urutan satuan batuan dari tua ke muda (Gambar 2) sebagai berikut:

- Satuan Batugamping,
- Satuan Granodiorit,
- Satuan Gabro, dan
- Satuan Breksi – Tuf



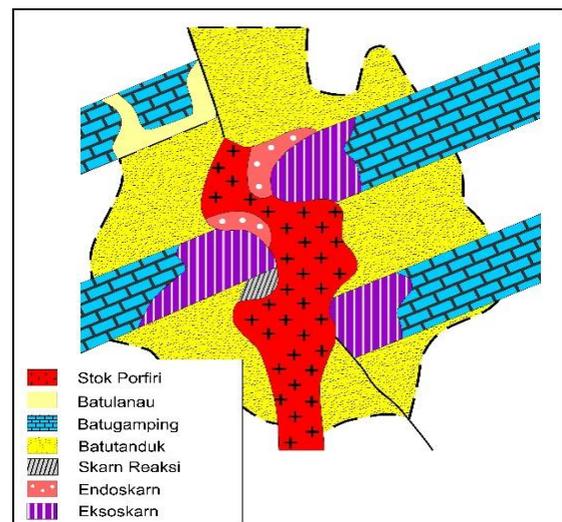
Gambar 2. Peta geologi daerah penelitian (modifikasi dari Franklin, 2014)

Alterasi dan Mineralisasi

Menurut Franklin (2014), alterasi dan mineralisasi di daerah penelitian menghasilkan beberapa tipe antara lain :

- a. Mineral Lempung – Oksida Besi, Zona sebaran alterasi hidrotermal tersebut diperkirakan terpusat pada kontak terobosan antara satuan granodiorit – satuan batugamping dan menyebar secara lateral akibat kehadiran struktur-struktur yang terbentuk sebelum atau ketika aktivitas magmatik. Mineral bijih berupa bijih besi hadir pada litologi breksi.
- b. Mineral-mineral alterasi kuarsa – klorit – epidot hadir pada satuan granodiorit dengan mineral bijih berupa bijih besi dan pirit. Penyebaran alterasi hidrotermal tersebut diperkirakan terbentuk di luar kontak terobosan satuan granodiorit – satuan batugamping.

- c. Mineral-mineral alterasi silika – mineral lempung hadir pada satuan granodiorit. Penyebaran alterasi hidrotermal tersebut diperkirakan terbentuk *overprinted* dengan alterasi mineral lempung – oksida besi.



Gambar 3. Perkembangan dari eksoskarn dan endoskarn (modifikasi dari Pirajno, 2009)

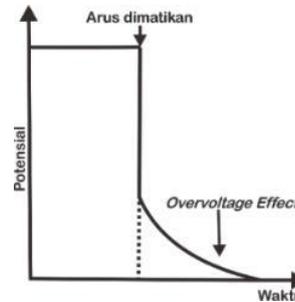
Menurut Franklin (2014) mineralisasi bijih besi di daerah penelitian memiliki tipe skarn. Berdasarkan batuan asalnya (protolith) skarn dibagi menjadi eksoskarn dan endoskarn (Pirajno, 2009). Eksoskarn digunakan untuk menjelaskan protolith yang teralterasi berasal dari batuan sedimen terutama batuan karbonat dalam hal ini berupa batugamping, sedangkan endoskarn digunakan untuk menjelaskan protolith yang berubah berasal dari batuan beku intrusif (Gambar 3).

METODE POLARISASI TERINDUKSI

Metode polarisasi terinduksi merupakan metode geofisika yang dapat digunakan untuk mempelajari keadaan geologi bawah permukaan berdasarkan kemampuan batuan/medium untuk menyimpan muatan listrik. Menurut Reynolds (2011), metode ini dapat digunakan untuk pemetaan keberadaan bijih logam yang tersebar, pencarian air tanah, eksplorasi panas bumi, serta sering digunakan dalam pencarian logam dasar. Metode ini merupakan pengembangan dari metode resistivitas dengan tambahan parameter polarisasi kelistrikan suatu medium atau disebut chargeabilitas (Telford dkk., 1990). Polarisasi terinduksi sendiri merupakan fenomena reorientasi muatan pada suatu medium karena adanya induksi yang mengenainya. Salah satu unsur alam yang memiliki tingkat polarisasi tinggi adalah logam. Oleh karena itu, adanya peristiwa polarisasi biasanya menandakan adanya kandungan logam dalam medium yang diteliti.

Prinsip dasar pengukuran metode polarisasi terinduksi adalah mengukur efek polarisasi yang terjadi pada suatu medium karena pengaruh arus listrik yang melewati medium tersebut. Arus listrik diinjeksikan ke bawah permukaan dengan dua buah elektroda arus (C1 dan C2) dan diterima oleh dua buah elektroda potensial (P1 dan P2). Pada kondisi normal, apabila arus dimatikan maka nilai beda potensial seharusnya bernilai nol, akan tetapi beda

potensial tersebut tidak langsung menjadi nol melainkan meluruh secara perlahan menuju nol yang disebut dengan *overvoltage effect* (Gambar 4).



Gambar 4. Fenomena polarisasi terinduksi (Reynolds, 2011)

Overvoltage effect disebabkan karena terdapat medium yang mengandung mineral logam yang dapat menyimpan arus sesaat dan berperan seperti kapasitor.

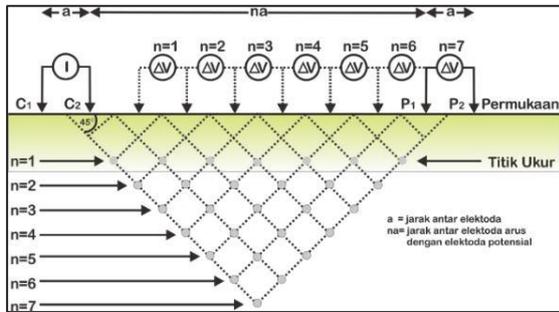
Pengukuran metode polarisasi terinduksi dalam kawasan waktu menggunakan sumber arus DC (searah) yang dialirkan dalam selang waktu tertentu. Nilai chargeabilitas (*M*) tersebut dapat diketahui dengan cara membandingkan potensial sekunder (*V_t*) yang terukur saat arus dimatikan dengan potensial primer (*V₀*) yang terukur saat arus diinjeksikan, sehingga dapat dirumuskan dengan persamaan (1) sebagai berikut:

$$M = \frac{V_t}{V_0} \tag{1}$$

Pengukuran nilai *V_t* sulit dilakukan karena terjadi dalam waktu singkat sehingga cara lain untuk mendapatkan nilai *V_t* dilakukan dengan mengukur waktu peluruhan nilai *V_t* dengan perhitungan besaran luas di bawah kurva peluruhan potensial dengan konsep integral sehingga diperoleh nilai chargeabilitas dengan satuan waktu (milisekon) yang dapat dilihat pada persamaan (2).

$$M_a = \frac{1}{V_0} \int_{t_1}^{t_2} V_t(t) dt = \frac{A}{V_0} \tag{2}$$

dengan V_t potensial sekunder yang terukur saat arus dimatikan pada waktu t_1 hingga t_2 , V_0 potensial primer yang terukur saat arus diinjeksikan, dan A adalah luasan di bawah kurva (Gambar 5).



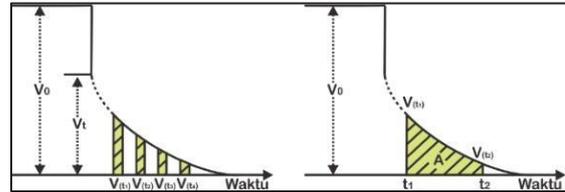
Gambar 5. Ilustrasi beda potensial yang meluruh terhadap waktu ketika arus listrik dimatikan (modifikasi dari Reynolds, 2011)

Konfigurasi yang digunakan disini adalah konfigurasi dipole-dipole (Gambar 6), dengan dua elektroda arus (C1 dan C2) dan dua elektroda potensial (P1 dan P2), yang jarak antar elektroda sejenisnya sama yaitu sebesar a meter. Pasangan elektroda potensial diletakkan di luar elektroda arus dengan kedua pasangan elektroda sejenis tersebut terpisahkan sejauh na , dengan n merupakan faktor perulangan ($n = 1, 2, 3, \dots$) yang semakin besar nilainya maka penetrasi kedalamannya juga semakin besar. Pengukuran dengan konfigurasi dipole-dipole dilakukan dengan memindahkan elektroda potensial sejauh na meter dengan elektroda arus tetap hingga pengukuran n terakhir sehingga didapatkan data secara vertikal. Kemudian elektroda arus dipindahkan sejauh n dengan diikuti pemindahan elektroda potensial hingga lintasan berakhir untuk mendapatkan data secara lateral.

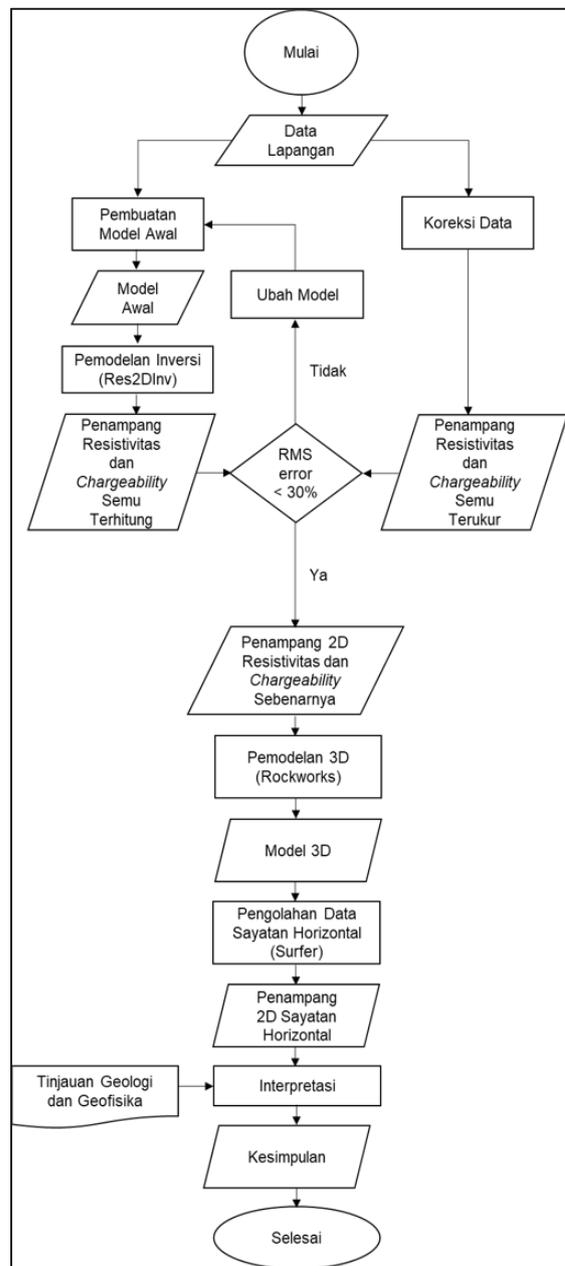
Kegiatan yang dimulai dari pengambilan data lapangan sampai dengan pemodelan, digambarkan dalam diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 7.

Pemodelan 2D dilakukan dengan melakukan proses inversi yang dilakukan terhadap data lapangan dengan tujuan untuk mengestimasi parameter fisis batuan yang tidak diketahui sebelumnya

(Supriyanto, 2007). Parameter yang dihasilkan dari inversi 2D adalah nilai resistivitas sebenarnya dan chargeabilitas sebenarnya.



Gambar 6. Konfigurasi elektroda dipole-dipole (modifikasi dari Loke, 2004)



Gambar 7. Diagram alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan tinjauan geologi, pembentukan bijih besi di daerah penelitian dikontrol oleh litologi berupa batugamping dan granodiorit yang mempengaruhi alterasi dan mineralisasi. Adanya struktur geologi berupa sesar geser yang berarah baratdaya – timurlaut juga menjadi aspek geologi yang mengontrol adanya endapan skarn besi tersebut. Sesar tersebut berperan sebagai jalan utama fluida hidrotermal untuk naik dan membentuk zona alterasi. Alterasi dan mineralisasi bijih di daerah penelitian terjadi akibat adanya reaksi antara fluida magmatik yang berasal dari batuan intrusi granodiorit yang bereaksi dengan batugamping.

Pada penelitian ini, pengukuran metode polarisasi terinduksi dilakukan sebanyak 11 lintasan dari lintasan A hingga K. Jarak/spasi elektroda 50 m dan $n = 7$. Terdapat 11 lintasan dengan panjang tiap lintasan 1.200 meter (Muttaqin, 2014).

Penentuan daerah yang berpotensi mineralisasi bijih besi dengan metode polarisasi terinduksi, dilakukan dengan menganalisis data berupa nilai resistivitas sebenarnya dan chargeabilitas sebenarnya. Berdasarkan respon resistivitas yang mengukur besarnya tahanan jenis material di bawah permukaan dapat diketahui litologi bawah permukaan. Nilai resistivitas tersebut diharapkan mampu memberikan gambaran zona alterasi yang terjadi akibat naiknya larutan hidrotermal. Nilai resistivitas rendah mengindikasikan litologi yang teralterasi berupa alterasi argilik dengan mineral pengikat berupa mineral lempung seperti smektit, illite, klorit, dan kaolin, sedangkan nilai resistivitas tinggi dapat mengindikasikan keberadaan intrusi batuan beku yang berasosiasi dengan sistem hidrotermal yang membentuk mineralisasi dan cebakan bijih besi. Respon chargeabilitas diperoleh dari respon pengukuran metode polarisasi terinduksi. Apabila terdapat mineral konduktif maka waktu peluruhan akan berlangsung lama karena logam sebagai

medium polarisabel yang dapat menyimpan arus listrik sehingga nilai chargeabilitas relatif lebih tinggi.

Interpretasi dapat dilakukan dengan melihat respon dari nilai resistivitas dan chargeabilitas sehingga zona mineralisasi bijih besi dan intrusi batuan beku yang memberikan respon anomali resistivitas tinggi dapat dibedakan. Selain itu, zona mineralisasi bijih besi dan alterasi mineral lempung yang memberikan anomali chargeabilitas tinggi juga dapat dibedakan.

Pemodelan 2D dibuat dengan penampang dari nilai resistivitas dan chargeabilitas semu hasil pengukuran di lapangan atau biasa disebut *pseudosection* data terukur, kemudian dilakukan proses pemodelan balik yang mengubah model resistivitas dan chargeabilitas semu menjadi model resistivitas dan chargeabilitas sebenarnya sehingga dihasilkan model inversi. Kemudian pemodelan maju dilakukan dengan mengubah model inversi menjadi data yang dinyatakan dalam *pseudosection* terhitung 2D. Pada model yang dihasilkan dari data pengukuran dan model dari data perhitungan dilakukan proses pencocokan. Model ini dapat dikatakan sesuai dengan kondisi bawah permukaan jika nilai *RMS error*-nya $< 30\%$.

Berdasarkan proses inversi, didapatkan rentang nilai resistivitas dari 2,74 ohm.m hingga 5.860 ohm.m dan nilai chargeabilitas dari 0 hingga 810 milisekon yang kemudian dikelompokkan berdasarkan skala rendah, sedang, dan tinggi. Pembagian skala tersebut berdasarkan hasil sebaran nilai resistivitas dan chargeabilitas pada penampang 2D dan juga menggunakan data sinkapan di lapangan. Data sinkapan yang dijadikan acuan interpretasi adalah lintasan C yang terdapat sinkapan bijih besi di titik 900 m dan lintasan E yang terdapat sinkapan bijih besi di titik 850 m. Berdasarkan hasil penampang 2D resistivitas dan chargeabilitas pada lintasan C dan lintasan E, terlihat respon mineralisasi yang diduga mengandung bijih besi ditunjukkan dengan nilai resistivitas tinggi dan nilai

chargeabilitas tinggi. Nilai resistivitas dan chargeabilitas dari singkapan bijih besi tersebut kemudian dijadikan acuan untuk penentuan mineralisasi bijih besi yang tidak tersingkap di permukaan.

Menurut Telford (1990), batulempung memiliki resistivitas rendah dari 0 – 100 ohm.m, sedangkan batugamping memiliki resistivitas yang lebih besar dari 50 – 10⁷ ohm.m. Hal ini menjadi alasan batulempung dengan resistivitas 0 – 100 ohm.m dikategorikan pada skala rendah dan batugamping dengan resistivitas 100 – 500 ohm.m dikategorikan pada skala sedang – tinggi.

Menurut Franklin (2014), zona mineralisasi bijih besi ditemukan pada intrusi batuan granodiorit yang menerobos batugamping. Berdasarkan hasil interpretasi pada penampang C, dapat disimpulkan bahwa batuan intrusi granodiorit memiliki nilai resistivitas >500 ohm.m yang diklasifikasikan pada skala tinggi. Respon dari chargeabilitas sendiri menunjukkan nilai yang relatif tinggi dari sekitarnya yaitu >150 milisekon. Hal ini mengakibatkan nilai tersebut diklasifikasikan pada skala tinggi. Pembagian skala dan korelasi dari nilai resistivitas dan chargeabilitas dengan hasil interpretasi dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 1. Klasifikasi skala nilai relatif resistivitas dan chargeabilitas

Skala	Resistivitas (ohm.m)	Chargeabilitas (milisekon)
rendah	0 – 100	0 – 50
sedang	100 – 500	50 – 150
tinggi	> 500	> 150

Tabel 2. Korelasi nilai relatif resistivitas dan chargeabilitas dengan interpretasi

Interpretasi	Resistivitas (ohm.m)	Chargeabilitas (milisekon)
Lapisan Soil	Rendah (<100)	Rendah (<50)
Batugamping	Sedang – Tinggi (>100)	Rendah (<50)
Batuan Beku (Gabro, Diorit, dan Granodiorit)	Tinggi (>500)	Rendah – Sedang (0 – 150)

Interpretasi	Resistivitas (ohm.m)	Chargeabilitas (milisekon)
Zona Alterasi Argilik	Rendah – Sedang (0–500)	Tinggi (>150)
Zona Mineralisasi Bijih Besi	Tinggi (>500)	Tinggi (>150)

Proses analisis data menghasilkan penampang 2D yang memberi gambaran, bahwa nilai resistivitas dan chargeabilitas dari daerah penelitian, terdapat 10 lintasan yang teridentifikasi mengandung zona mineralisasi bijih besi yaitu lintasan-lintasan B, C, D, E, F, G, H, I, J, dan K. Adapun interpretasi dari lintasan-lintasan C, E, H, dan K yang mengandung mineralisasi bijih besi tersebut adalah sebagai berikut.

Berdasarkan penampang 2D pada lintasan C (Gambar 8) terlihat bahwa lintasan tersebut berada pada orientasi baratdaya – timurlaut dengan variasi elevasi berkisar antara 700 m hingga 900 m. Pada lintasan ini terdapat singkapan bijih besi yang terletak di titik elektroda 900 m yang ditunjukkan dengan nilai resistivitas tinggi (>500 Ωm) dan nilai chargeabilitas tinggi (>150 milisekon) pada litologi breksi tuf. Hal ini dapat digunakan sebagai acuan untuk lintasan lain dengan cara membandingkan singkapan yang ada di lapangan dengan nilai anomali yang ditimbulkan dari singkapan tersebut. Oleh karena itu, hasil klasifikasi nilai resistivitas dan chargeabilitas lintasan C digunakan sebagai acuan dalam penelitian.

Berdasarkan respon dari singkapan bijih besi, dapat diketahui respon zona mineralisasi bijih besi yang tidak tersingkap di permukaan berada pada titik 400 m, 600 m, dan 800 m dengan elevasi masing-masing 780 m, 775 m, 760 m. Zona mineralisasi di titik 400 m menerus dari lintasan sebelumnya yaitu lintasan B, sedangkan zona mineralisasi di titik 800 m tersebut menerus ke lintasan selanjutnya yaitu lintasan D.

Pada lintasan C juga terdapat zona alterasi argilik di titik 975 m dengan elevasi 820 m

yang ditunjukkan dengan adanya variasi nilai resistivitas sedang dan nilai chargeabilitas tinggi yang menunjukkan bahwa susunan batuan pada daerah penelitian sebagian besar telah mengalami ubahan. Kenampakan tersebut juga mengindikasikan adanya struktur berupa sesar sebagai jalur yang dilewati fluida hidrotermal yang ditunjukkan dengan pola anomali yang memanjang vertikal. Sesar tersebut diduga sebagai pengontrol terjadinya alterasi di lintasan tersebut. Hal ini sesuai dengan informasi geologi bahwa mineral lempung – oksida besi tersebut berada pada kontak terobosan antara satuan granodiorit dan satuan batugamping yang menyebar secara lateral karena adanya struktur berupa sesar geser yang berarah baratdaya – timurlaut di titik 950 m. Pada lintasan ini juga terdapat singkapan batuan beku di titik 350 m dengan elevasi 880 m yang memberikan respon nilai resistivitas tinggi dan chargeabilitas rendah. Dari penampang 2D, terlihat bahwa singkapan tersebut tidak menerus ke bawah, hal ini diduga karena adanya larutan hidrotermal yang mengisi pori batuan sehingga menimbulkan respon resistivitas tinggi yang diselingi dengan resistivitas rendah yang kemudian mengubah komposisi batuan di bagian bawah dan menyebabkan mineralisasi di titik 400 m. Selain itu, pada titik 1000 m terlihat adanya intrusi batuan beku yang menerus dari lintasan B. Zona intrusi ini berperan penting sebagai sumber fluida hidrotermal yang akan melewati rekahan kemudian mengubah komposisi mineral batuan sampingnya.

Lintasan E (Gambar 9) berada pada orientasi baratdaya – timurlaut dengan elevasi berkisar antara 720 m sampai dengan 920 m. Pada lintasan E terdapat singkapan bijih besi di titik 850 m. Singkapan tersebut memberikan nilai resistivitas tinggi ($>500 \Omega m$) dan nilai chargeabilitas tinggi (>150 milisekon). Berdasarkan data keberadaan singkapan tersebut, lintasan ini dapat dijadikan acuan untuk lintasan lain yang tidak melewati singkapan. Berdasarkan respon dari singkapan bijih besi, dapat diketahui

respon zona mineralisasi bijih besi yang tidak tersingkap di permukaan berada pada titik 525 m hingga 625 m dengan elevasi 800 m. Keberadaan zona mineralisasi tersebut diduga berkaitan dengan adanya sesar geser yang berada pada titik 700 m sehingga menjadi zona lemah untuk penerobosan magma yang melibatkan batuan samping sehingga menimbulkan bahan cair, seperti cairan magmatik dan metamorfik yang banyak mengandung bijih besi. Zona mineralisasi pada titik tersebut menerus ke lintasan selanjutnya yaitu lintasan F yang faktor pengontrol mineralisasinya juga diduga berupa sesar geser.

Pada lintasan E juga terdapat zona alterasi argilik di titik 850 m dan 975 m dengan elevasi masing-masing 780 m dan 800 m yang ditunjukkan dengan adanya variasi nilai resistivitas rendah dan nilai chargeabilitas tinggi yang menunjukkan bahwa susunan batuan pada daerah penelitian sebagian besar telah mengalami alterasi dan banyak mengandung mineral lempung yang bersifat konduktif sehingga respon resistivitasnya rendah. Selain itu, pada lintasan E juga terdapat batuan beku di titik 200 – 400 m dengan elevasi 780 m dan di titik 925 m dengan elevasi 760 m, yang ditunjukkan dengan nilai resistivitas tinggi dan chargeabilitas rendah. Nilai resistivitas tinggi tersebut menerus dari lintasan D sampai lintasan F. Pada titik 1000 m, 1050 m, dan 1075 m dengan elevasi 840 m yang ditunjukkan dengan nilai resistivitas sedang – tinggi dan chargeabilitas rendah diinterpretasikan sebagai batugamping. Hal ini sesuai dengan informasi pada peta geologi.

Berdasarkan penampang 2D pada lintasan H (Gambar 10) terlihat bahwa lintasan tersebut berada pada orientasi baratdaya – timurlaut dengan elevasi berkisar antara 750 m dan 950 m. Pada penampang tersebut terdapat zona menarik berupa zona mineralisasi bijih besi yang terdapat di antara titik 75 m sampai 125 m, 225 m sampai 400 m, dan 1.000 m dengan elevasi masing-masing 925 m, 900 m, dan 900 m yang terlihat dengan adanya variasi nilai

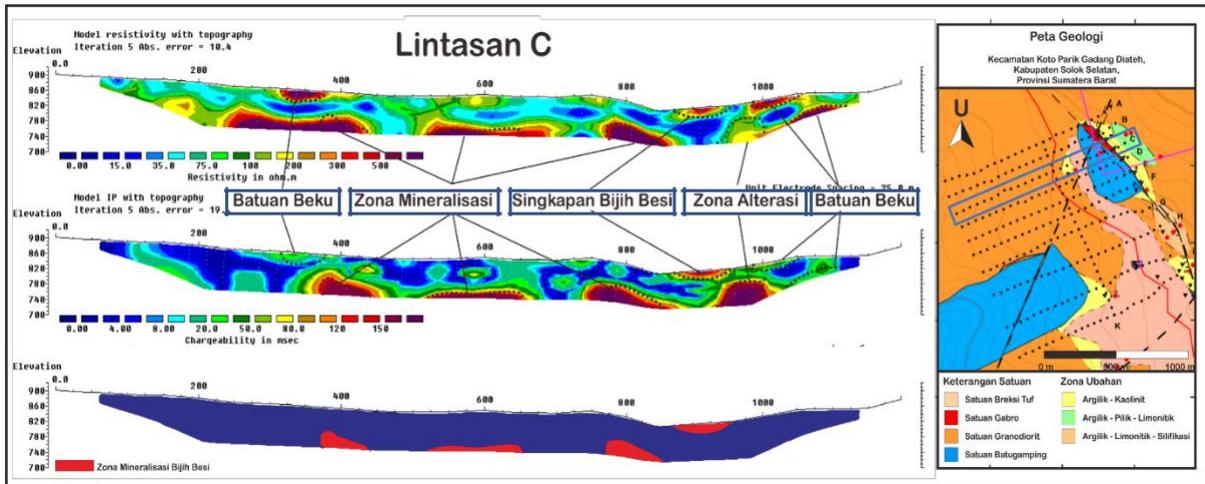
resistivitas tinggi resistivitas ($>500 \Omega m$) dan nilai chargeabilitas tinggi (>150 milisekon). Keberadaan zona mineralisasi ini menerus ke lintasan selanjutnya yaitu lintasan I yang pada peta geologi menunjukkan litologi yang sama. Zona mineralisasi ini terjadi pada kontak terobosan antara satuan granodiorit dan satuan batugamping. Hal ini dapat menyebabkan mineralisasi bijih besi bertipe skarn. Zona mineralisasi ini sesuai dengan informasi geologi bahwa mineralisasi diduga terjadi akibat adanya sesar pada titik 300 m yang mengontrol proses kontak antara batuan dengan intrusi magma yang menyebabkan masuknya larutan hidrotermal pada pori-pori batuan sehingga menyebabkan proses metasomatisme dan terjadi perubahan menyeluruh terhadap komposisi batuan tersebut.

Pada lintasan H juga terdapat zona alterasi argilik antara titik 625 m sampai titik 725 m dengan elevasi 800 m yang ditunjukkan dengan adanya variasi nilai resistivitas rendah dan nilai chargeabilitas tinggi yang menunjukkan bahwa susunan batuan pada daerah penelitian sebagian besar telah mengalami ubahan dan banyak mengandung mineral lempung yang bersifat konduktif sehingga respon resistivitasnya rendah. Selain itu juga terdapat singkapan batugamping dengan nilai resistivitas tinggi dan chargeabilitas rendah di permukaan sepanjang titik 400 m sampai dengan 600 m dengan elevasi 900 m yang menerus ke lintasan selanjutnya yaitu lintasan I. Dari penampang 2D, terlihat bahwa batugamping tersebut tidak membentuk bodi yang menerus ke bawah, hal ini disebabkan karena adanya larutan hidrotermal yang masuk ke pori-pori batuan sehingga menimbulkan respon resistivitas rendah di bagian bawahnya. Pada zona antara titik 750 m sampai titik 950 m dengan elevasi 800 m juga terdapat respon yang sama yang diinterpretasikan sebagai kemenerusan satuan batugamping.

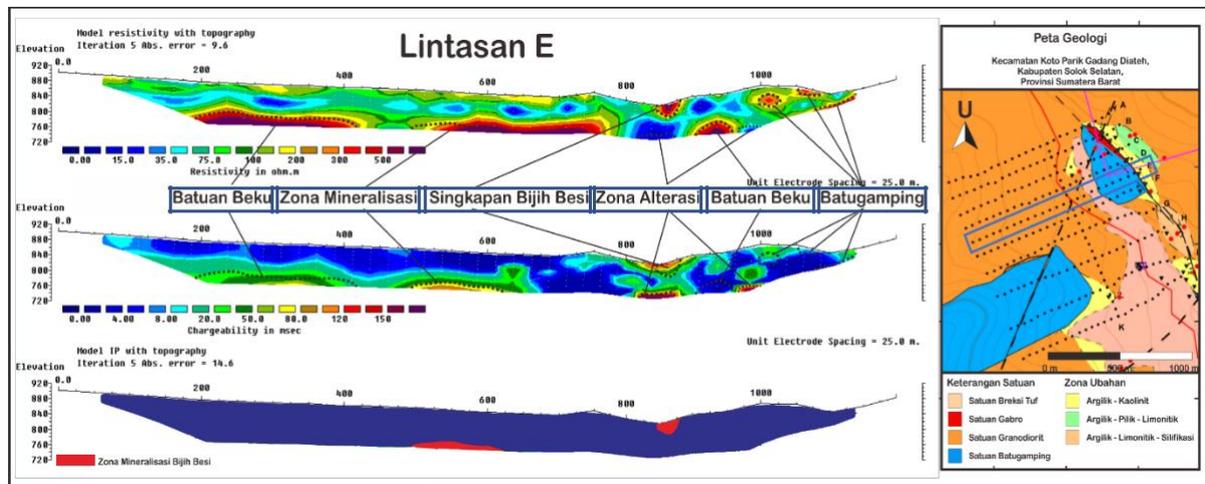
Lintasan K (Gambar 11) berada pada orientasi utara – selatan yang memotong lintasan lainnya dengan variasi topografi

yang relatif datar dan elevasi berkisar antara 700 m dan 860 m. Korelasi antara penampang 2D nilai resistivitas dan chargeabilitas dilakukan untuk mengidentifikasi zona yang dianggap menarik. Selain itu, penampang lintasan K juga dapat digunakan untuk melakukan pencocokan dengan lintasan lainnya mengingat keberadaan lintasan ini yang memotong lintasan lainnya. Pada penampang ini terdapat zona menarik berupa zona mineralisasi bijih besi yang terdapat di titik 400 m dengan elevasi 760 m yang memotong lintasan E di titik 600 m dan memberikan respon yang sama. Pada titik tersebut terlihat adanya variasi nilai resistivitas tinggi ($>500 \Omega m$) dan nilai chargeabilitas tinggi (>150 milisekon) yang diinterpretasikan sebagai zona mineralisasi. Adanya struktur berupa sesar geser di titik ini diduga menyebabkan masuknya larutan hidrotermal pada pori-pori batuan sehingga menyebabkan proses mineralisasi. Zona mineralisasi juga terdapat pada titik 650 m yang memotong lintasan G di titik 700 m. Lintasan K dan lintasan G tersebut memberikan respon yang sama berupa nilai resistivitas tinggi dan chargeabilitas tinggi untuk zona mineralisasi.

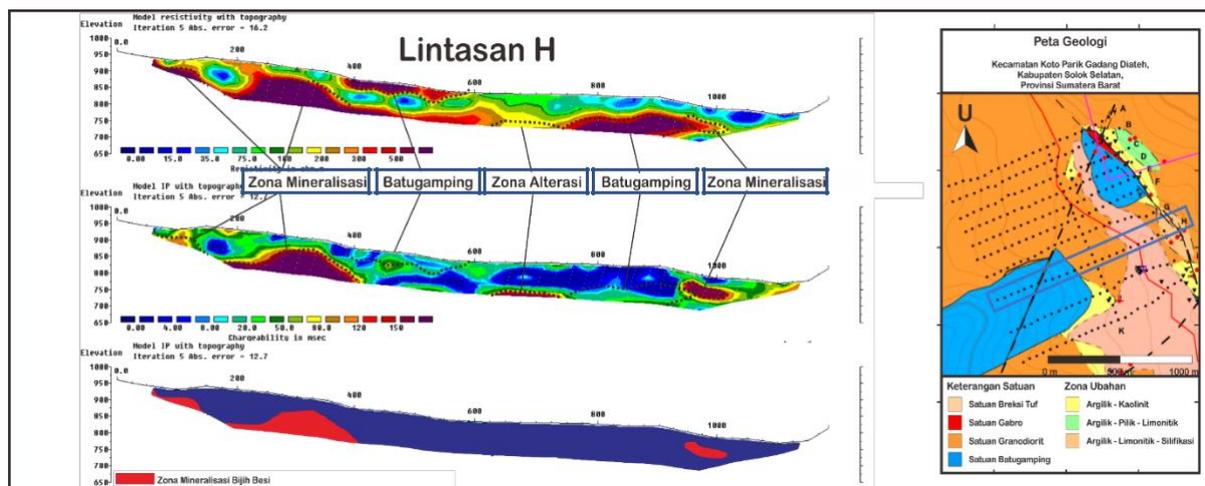
Pada lintasan K juga terdapat batuan beku di sepanjang titik 500 m hingga 650 m dengan elevasi 740 m yang memotong lintasan F di titik 700 m. Pada titik tersebut, respon yang diberikan berupa nilai resistivitas tinggi dan chargeabilitas rendah. Adanya batuan beku ini diperkirakan sebagai sumber fluida hidrotermal untuk proses mineralisasi di sekitarnya yang pada lintasan ini berada pada titik 650 m. Selain itu, pada titik 800 m hingga 1000 m yang memotong lintasan H titik 850 m juga terdapat variasi nilai resistivitas tinggi dan nilai chargeabilitas rendah yang diinterpretasikan sebagai batugamping. Lintasan K dan lintasan H tersebut memberikan respon yang sama, bahwa satuan batugamping ini diperkirakan merupakan kemenerusan dari satuan yang sama antara titik 400 m sampai dengan titik 600 m lintasan H.



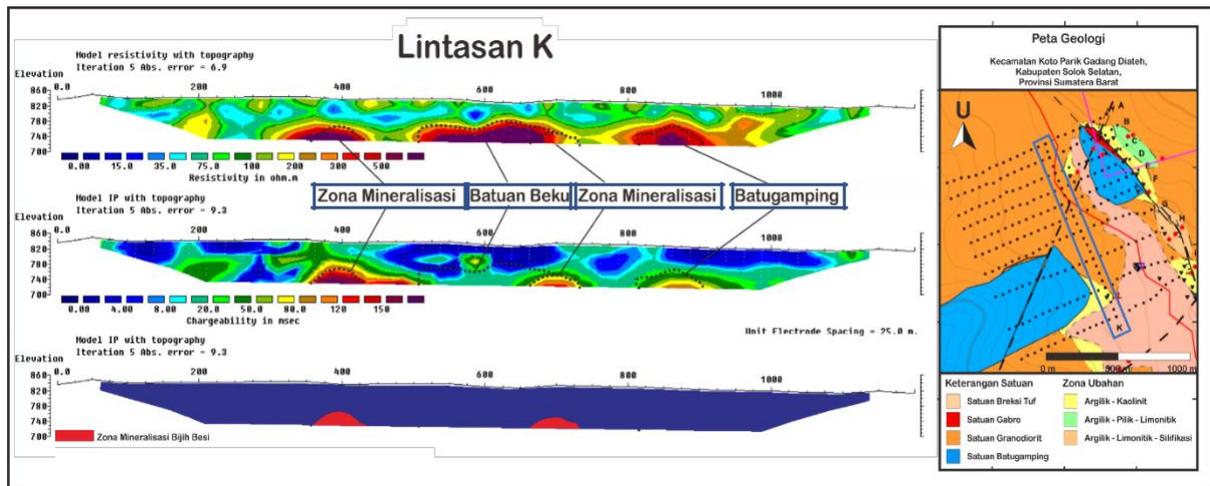
Gambar 8. Hasil interpretasi lintasan C



Gambar 9. Hasil interpretasi lintasan E



Gambar 10. Hasil interpretasi lintasan H



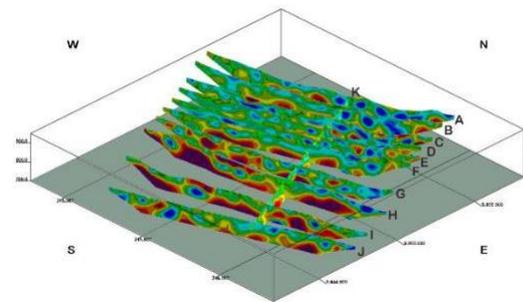
Gambar 11. Hasil interpretasi lintasan K

Setelah melakukan interpretasi hasil pemodelan 2D pada masing-masing lintasan, selanjutnya dilakukan pemodelan data dalam bentuk 3D berdasarkan nilai resistivitas dan nilai. Pemodelan 3D dilakukan untuk menentukan volume sebaran mineralisasi dan melihat kemenerusan zona mineralisasi dari masing-masing lintasan.

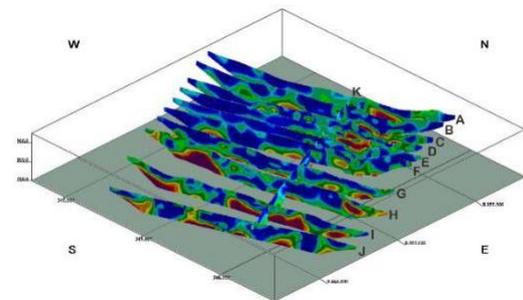
Pada korelasi penampang nilai resistivitas semua lintasan (Gambar 12), diketahui bahwa nilai resistivitas tinggi menerus pada setiap lintasan di bagian barat. Selain itu juga terdapat nilai resistivitas tinggi di bagian timurlaut yang diinterpretasikan sebagai intrusi batuan beku. Adanya intrusi tersebut berperan penting sebagai sumber fluida hidrotermal yang akan melewati rekahan kemudian mengubah komposisi mineral batuan samperinya.

Pada korelasi penampang nilai chargeabilitas semua lintasan (Gambar 13), terlihat bahwa nilai chargeabilitas tinggi berada pada bagian barat yang menerus dari lintasan G hingga lintasan J. Selain itu, di bagian timurlaut juga terlihat nilai chargeabilitas tinggi berada pada kontak antara Satuan Granodiorit dan Satuan Batugamping. Hal ini sesuai dengan informasi geologi bahwa endapan skarn besi terbentuk akibat adanya interaksi antara fluida magmatik dan meteorik yang berasal dari granodiorit

kemudian fluida tersebut berinteraksi dengan batugamping.



Gambar 12. Korelasi penampang nilai resistivitas semua lintasan



Gambar 13. Korelasi penampang nilai chargeabilitas semua lintasan

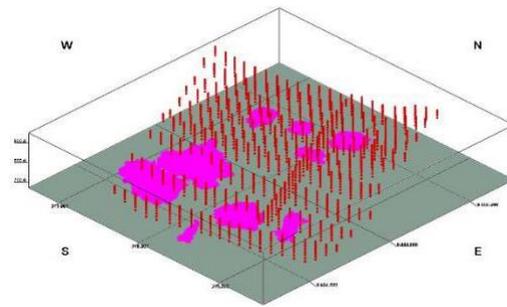
Berdasarkan hasil pemodelan 3D, terlihat adanya kemenerusan yang relatif berarah baratdaya – timurlaut. Kemenerusan tersebut diduga dikontrol oleh sesar geser mengiri yang berada pada daerah penelitian. Hal ini sesuai dengan informasi geologi bahwa mineralisasi terjadi akibat

adanya sesar geser mengiri yang mengontrol proses kontak antara batuan dengan intrusi magma yang menyebabkan masuknya larutan hidrotermal pada pori-pori batuan sehingga menyebabkan proses metasomatisme dan terjadi perubahan menyeluruh terhadap komposisi batuan tersebut.

Selain itu, dapat diketahui juga volume sebaran mineralisasi yang diduga mengandung bijih besi di bawah permukaan (Gambar 14). Estimasi besarnya volume zona mineralisasi di daerah ini hanya difokuskan pada zona endoskarn yang merupakan protolith terubah yang berasal dari batuan beku intrusif. Menurut Gautama (2018), penentuan volume dilakukan dengan cara menggabungkan data resistivitas dan chargeabilitas sebenarnya dari semua lintasan. Dalam penelitian ini nilai resistivitas dibatasi dengan nilai *cut off* $>500 \Omega\text{m}$ dan chargeabilitas >150 milisekon yang diduga sebagai zona terbentuknya mineralisasi bijih besi. Perhitungan volume tersebut didapatkan dalam satuan meter kubik (m^3).

Berdasarkan pengolahan tersebut, didapatkan volume sebaran mineralisasi yang diduga mengandung bijih besi pada daerah penelitian sebesar 864.000 m^3 .

Pembuatan sayatan horizontal bertujuan untuk mengetahui kemenerusan dari resistivitas dan chargeabilitas secara lateral, sehingga dapat diketahui kemenerusan dari zona yang dianggap menarik pada tiap kedalaman. Sayatan horizontal yang ditampilkan meliputi kedalaman 5 m, 25 m, 45 m, 74 m, dan 107 m yang dianggap dapat merepresentasikan zona menarik. Pada sayatan tersebut dilakukan tumpang susun dengan peta geologi guna mengetahui korelasi dari respon zona menarik dengan satuan litologi di daerah penelitian. Sayatan yang dibuat sesuai dengan topografi dari tiap lintasan.



Gambar 14. Korelasi persebaran zona mineralisasi bijih besi semua lintasan

Berdasarkan hasil sayatan per kedalaman (Gambar 15), pada kedalaman 5 m didominasi oleh nilai resistivitas rendah dan chargeabilitas rendah yang dapat diinterpretasikan sebagai lapisan soil. Anomali nilai resistivitas tinggi terlihat berada pada kontak antara satuan granodiorit dengan satuan batugamping dan berada pada jalur sesar geser di bagian baratdaya (lintasan H dan lintasan I). Nilai resistivitas tinggi juga terlihat pada kontak kedua satuan batuan tersebut yang berkorelasi dengan nilai chargeabilitas sedang di bagian timur laut (lintasan C, E). Selain itu juga terdapat nilai resistivitas tinggi dengan nilai chargeabilitas rendah yang hanya terdapat di satu titik saja (lintasan C). Pola anomali resistivitas tinggi pada satuan batugamping tersebut menerus hingga kedalaman 25 m. Nilai chargeabilitas tinggi yang berbentuk spot-spot dari kedalaman sebelumnya tidak menerus hingga kedalaman 25 m.

Pada kedalaman 45 m, nilai resistivitas tinggi mendominasi satuan batugamping di bagian barat daya dan satuan breksi tuf (lintasan G, lintasan H dan lintasan I). Sedangkan nilai chargeabilitas tinggi teramati pada satuan granodiorit (lintasan dan breksi tuf (lintasan H). Hal ini sesuai dengan informasi geologi bahwa alterasi mineral lempung dan oksida besi dengan teramati pada satuan breksi tuf. Mineral lempung dan oksida besi tersebut hadir menggantikan matriks dan fragmen serta tuf.

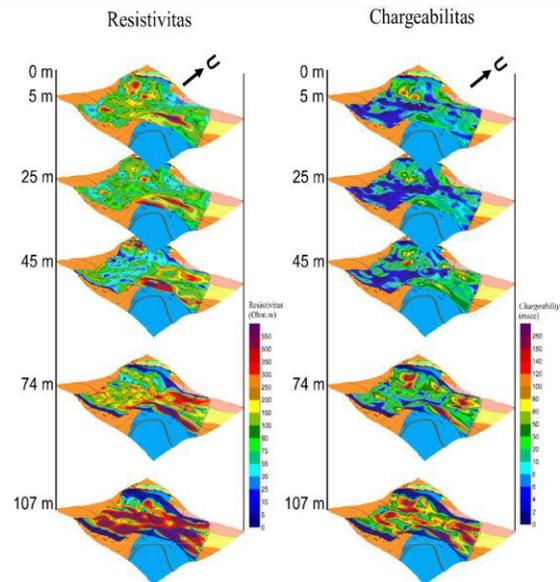
Pada kedalaman 74 m, respon resistivitas tinggi yang menerus dari kedalaman 45 m berkorelasi dengan nilai chargeabilitas tinggi yang diinterpretasikan sebagai zona mineralisasi. Zona tersebut berada pada kontak antara satuan granodiorit dengan satuan batugamping dan berada pada jalur sesar geser di bagian barat daya (lintasan H, I) dan di bagian timur laut (lintasan C, D). Adanya sesar tersebut diduga menjadi pengontrol mineralisasi. Sesar tersebut berperan untuk jalan masuknya larutan hidrotermal pada pori-pori batuan sehingga menyebabkan proses metasomatisme dan terjadi perubahan menyeluruh terhadap komposisi batuan tersebut. Nilai resistivitas tinggi juga terdapat pada satuan breksi tuf (lintasan G, lintasan H dan lintasan, I). Korelasi dengan nilai chargeabilitas tinggi berada pada spot-spot tertentu satuan breksi tuf (lintasan I).

Pada kedalaman 107 m, nilai resistivitas tinggi yang mendominasi daerah penelitian berkorelasi dengan nilai chargeabilitas tinggi yang menerus dari kedalaman 74 m. Pada kedalaman ini, nilai chargeabilitas terlihat menyebar secara lateral sepanjang sesar geser yang berarah baratdaya – timurlaut.

Respon tersebut sesuai dengan zona alterasi yang tertera pada peta geologi. Nilai chargeabilitas yang tinggi dapat disebabkan oleh banyaknya mineral lempung sebagai mineral terubahkan oleh proses alterasi. Berdasarkan hasil sayatan horizontal yang dikorelasikan dengan peta geologi, zona anomali resistivitas dan chargeabilitas tinggi yang mengindikasikan zona mineralisasi bijih besi banyak ditemukan pada satuan batugamping dan satuan granodiorit di bagian baratdaya dan timurlaut. Anomali yang diduga sebagai sebaran bijih besi tersebut jumlahnya semakin banyak seiring dengan bertambahnya kedalaman.

Berdasarkan pemodelan 3D, didapatkan potensi zona mineralisasi bijih besi pada area baratdaya cenderung lebih banyak jika dibandingkan dengan area timurlaut. Untuk keperluan eksploitasi di daerah

penelitian maka disarankan untuk memfokuskan kegiatan pertambangan pada area baratdaya dan timurlaut karena dari kedua area tersebut teramati adanya mineral logam sulfida (bijih besi, pirit, kalkopirit, malakit) yang dapat dijadikan petunjuk lokasi keterdapatannya bijih besi yang diperkuat dengan data geofisika.



Gambar 15. Sayatan penampang resistivitas dan chargeabilitas per kedalaman

KESIMPULAN

Persebaran zona mineralisasi bijih besi berarah baratdaya – timurlaut dengan jumlah yang semakin bertambah seiring bertambahnya kedalaman dan diduga dikontrol oleh sesar geser mengiri di daerah penelitian.

Zona mineralisasi bijih besi ditunjukkan dengan nilai resistivitas relatif tinggi (>500 Ω m) dan chargeabilitas tinggi (>150 milisekon) pada zona endoskarn. Hasil perhitungan volume sebaran mineralisasi yang diduga mengandung bijih besi pada zona endoskarn tersebut mencapai sebesar 864.000 m³.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada Pusat Sumber

Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi yang telah menyediakan waktu, tempat, dan data untuk melakukan penelitian ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada tim survei Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi yang telah memberikan masukan dalam penelitian ini. Ucapan terimakasih juga disampaikan kepada semua pihak yang telah membantu sehingga makalah ini dapat terselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

Franklin, 2014, *Prospek untuk Menentukan Wilayah Pengeboran Eksplorasi Logam Besi dan Logam Lainnya di Ulu Suliti dan Tanjung Lima Kapas, Kabupaten Solok Selatan, Provinsi Sumatra Barat*, Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung.

Gautama, I.F.Y., Heditama, D.M., Muttaqin, Y.A., 2018, *Potensi Zona Urat Kuarsa Berdasarkan Analisis Geofisika dengan Metode Polarisasi Terinduksi di Daerah Olat Tanah Merah-Plampang, Kabupaten Sumbawa, Provinsi Nusa Tenggara Barat*, Buletin Sumber Daya Geologi Volume 13 Nomor 1.

Heditama, D.M., Sunuhadi, D.N., Muksin, I., 2019, *Pemutakhiran Data dan Neraca Sumber Daya Mineral*, Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi, Bandung.

Loke, M.H., 2004, *Tutorial : 2-D and 3-D Electrical Imaging Surveys*, Geotomo Software Malaysia.

Muttaqin, Y.A., 2014, *Survei Polarisasi Terimbas (IP) dan Geomagnet Daerah Ulu Suliti dan Tanjung Lima Kapas, Kabupaten Solok Selatan, Provinsi Sumatra Barat*, Pusat Sumber Daya, Bandung.

Pirajno, F., 2009, *Hydrothermal Processes and Mineral Systems*, Springer – Geological Survey of Western Australia, Perth, Australia Barat.

Reynolds, J.M., 2011, *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*, Willey-Blackwell, Chichester.

Rosidi, H.M.D., Tjokrosoepetro, S., Pendowo, B., Gafoer, S., Suharsono, 1996, *Peta Geologi Lembar Painan Sumatra*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.

Supriyanto, 2007, *Analisis Data Geofisika: Memahami Teori Inversi*, Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia, Depok.

Telford, W. M., Geldart, L. P., dan Sheriff, E., 1990, *Applied Geophysics*, Cambridge University Press, Cambridge.

Van Bemmelen, R.W., 1949, *The Geology of Indonesia*, vol. 1A, General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes, ed. 2nd, Martinus Nijhoff, The Hague, Netherlands.

Diterima	: 4 September 2020
Direvisi	: 28 September 2020
Disetujui	: 28 November 2020