

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL	x
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Maksud dan tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Geologi Regional	5
2.1.1. Struktur Regional Pulau Belitung	6
2.1.2. Stratigrafi Regional Pulau Belitung	7
2.2 Geologi Lokal Daerah Penelitian Batubesi	10
2.2.1 Stratigrafi Daerah Batubesi	10
2.2.2 Struktur Geologi Lokal Batubesi	10
2.3 Alterasi Daerah Penelitian Batu Besi.....	11
2.4 Proses Terbentuknya Endapan Timar Primer	13
2.5 Penelitian Terdahulu	14
BAB III. DASAR TEORI.....	19
3.1 Pengertian Metode Geolistrik	19
3.2 Prinsip Dasar Metode Geolistrik.....	20

3.3 Metode Induksi Polarisasi (IP).....	21
3.4 Teknik Pengukuran Induksi Polarisasi.....	23
3.5 Konfigurasi Dipole-dipole	24
3.3 Konsep Inversi	26
BAB IV. METODE PENELITIAN	28
4.1 Akuisisi Data.....	29
4.2 Lokasi dan Waktu Penelitian	30
4.3 Desain Survei	30
4.4 Peralatan Pengukuran Lapangan	32
4.5 Pengolahan Data Induksi Polarisasi (IP).....	33
4.6 Interpretasi Data Induksi Polarisasi	35
BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN	39
5.1 Klasifikasi Zona Mineralisasi Timah Primer	40
5.2 Interpretasi Penampang Induksi Polarisasi (IP)	39
5.3 Korelasi Penampang IP dan Delineasi Zona Mineralisasi Timah Primer	44
5.4 Model 3D Zona Mineralisasi Timah Primer	46
5.5 Metode Perhitungan Cadangan	47
BAB VI. PENUTUP	48
6.1 Kesimpulan	48
6.2 Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA	50
LAMPIRAN.....	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Geologi Pulau Belitung, Indonesia (Schwartz, 1990).....	6
Gambar 2.2	Peta Geologi Lokal Betu Besi (PT. Timah, 2016)	11
Gambar 2.3	Peta Alterasi Daerah Penelitian (Timah, 2016).....	13
Gambar 2.4	Peta Magnetik PT Timah Blok Batubesi.....	16
Gambar 3.1	Parameter Resistivitas (Philip Kearey, 2002)	21
Gambar 3.2	Ilustrasi Injeksi arus IP	21
Gambar 3.3	Polarisasi Elektroda (Telford, 1990)	22
Gambar 3.4	Polarisasi Membran (Ward, 1990)	23
Gambar 3.5	Konfigurasi Dipole-dipole (Loke, 2004).....	25
Gambar 3.6	Posisi Elektroda Konfigurasi Dipole-dipole	25
Gambar 3.7	Sensitivitas Konfigurasi Dipole-dipole (Loke, 2004)	26
Gambar 4.1	Diagram Alir Penelitian	29
Gambar 4.2	Desain Survei Pengukuran IP Daerah Penelitian	31
Gambar 4.3	Gambar Peralatan Pengukuran Metode IP	33
Gambar 4.4	Diagram Alir Pengolahan IP dengan <i>Software Res2Dinv</i>	34
Gambar 5.1	Penampang 2D Induksi Polarisasi Lintasan BB F5	40
Gambar 5.2	Penampang 2D Induksi Polarisasi Lintasan BB L5	41
Gambar 5.3	Penampang Korelasi 2D IP Resistivitas	43
Gambar 5.4	Penampang Korelasi 2D IP Chargeabilitas	44
Gambar 5.5	Model 3D <i>Cut Off</i> Chargeabilitas.....	45
Gambar Lampiran A.1	Penampang IP Lintasan BB A5	51
Gambar Lampiran A.2	Penampang IP Lintasan BB B5	52
Gambar Lampiran A.3	Penampang IP Lintasan BB C5	52
Gambar Lampiran A.4	Penampang IP Lintasan BB D5	53
Gambar Lampiran A.5	Penampang IP Lintasan BB E5.....	53
Gambar Lampiran A.6	Penampang IP Lintasan BB F5.....	54
Gambar Lampiran A.7	Penampang IP Lintasan BB G5	54
Gambar Lampiran A.8	Penampang IP Lintasan BB H5	55
Gambar Lampiran A.9	Penampang IP Lintasan BB I5.....	55
Gambar Lampiran A.10	Penampang IP Lintasan BB J5.....	56
Gambar Lampiran A.11	Penampang IP Lintasan BB K5	56

Gambar Lampiran A.12	Penampang IP Lintasan BB L5.....	57
Gambar Lampiran A.13	Penampang IP Lintasan BB M5.....	57
Gambar Lampiran B.1	Spesifikasi AGI SuperSting R8 (Agusia.com).....	58
Gambar Lampiran C.1	Aliran Arus listrik medium homogen	62
Gambar Lampiran C.2	Aliran Arus listrik medium homogen $\frac{1}{2}$ ruangan	65
Gambar Lampiran C.3	Permukaan Ekuipotensial dan Arah perambatan arus	66
Gambar Lampiran D.1	Pengaruh Resolusi Konfigurasi (John, 1972)	68
Gambar Lampiran D.2	Distribusi Sensivitas 2D Konfigurasi Geolistrik	69

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Tabel Susunan Stratigrafi Regional Belitung.....	9
Tabel 2.2	Tabel Susunan Stratigrafi Lokal Batubesi	10
Tabel 2.3	Rangkuman Tabel Penelitian Terdahulu.....	14
Tabel 4.1	Tabel Lintasan Pengukuran Induksi Polarisasi	31
Tabel 4.3	Tabel Chargeabilitas (Telford, 1990).....	36
Tabel 5.1	Tabel Perbandingan Chargeabilitas pada Penelitian	37
Tabel 5.2	Tabel Klasifikasi Resistivitas dan Chargeabilitas	38
Tabel 5.3	Tabel Interpretasi Resistivitas dan Chargeabilitas	39
Tabel Lampiran B.1	Spesifikasi AGI SuperSting R8 (Agusia.com).....	58
Tabel Lampiran D.1	Macam-macam Konfigurasi Elektrode.....	67
Tabel Lampiran D.2	Perbandingan Konfigurasi Geolistrik(John, 1972)	70

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Penelitian

Indonesia merupakan negara yang kaya akan sumber daya alam yang terbentang dari sabang hingga merauke, termasuk kekayaan alam berupa bahan galian logam dan non logam yang berlimpah serta bernilai ekonomis, yang mana dari kekayaan sumber daya alam tersebut Indonesia dapat mendapatkan pemasukan yang cukup tinggi bagi devisa negara. Salah satu sumberdaya alam berupa bahan galian logam di Indonesia yang menjadi perhatian ialah potensi keberadaan Timah di Indonesia. Kegiatan eksplorasi bahan galian logam di Indonesia khususnya sektor eksplorasi timah di lokasi Pulau Bangka Belitung sudah dimulai dari sejak jaman kolonial Belanda hingga saat ini, dan untuk saat ini hasil penambangan timah tersebut digunakan untuk memenuhi kebutuhan bahan galian logam timah didalam kegiatan perindustrian dalam negeri, dan juga sebagian hasil dari tambang eksplorasi timah di kepulauan Bangka Belitung juga disalurkan untuk memenuhi permintaan pasar di luar negeri. Salah satu perusahaan Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang telah berfokus pada kegiatan eksplorasi penambangan timah ialah PT. Timah, Tbk.. Perusahaan BUMN tersebut menargetkan Indonesia sebagai negara eksportir timah nomor satu dunia pada 2019, melalui peningkatan kinerja, menambah alat pengolahan bijih timah serta meningkatkan kadar dari ore sebelum dilebur menjadi logam atau balok timah. "Saat ini, posisi Indonesia masih berada di nomor dua setelah China sebagai eksportir dunia", kata Sekretaris Perusahaan Timah Amin Haris Sugiharto seperti dikutip AntaraneWS, di Pangkalpinang, Minggu (17/3/2019).

Ditinjau dari sudut geologi, penyebaran bijih timah di Indonesia masih merupakan kelanjutan dari sabuk granit yang berumur Yura–Kapur yang membentang mulai dari Myanmar, Muangthai, Malaysia, Kepulauan Riau (Pulau Singkep, Pulau Karimun dan Pulau Kundur), Pulau Bangka dan Pulau Belitung hingga Pulau Karimata (Syafrizal dkk, 2019). Sabuk Granit sendiri merupakan deretan formasi batuan granit yang kaya akan mineral kasiterit, sehingga kepulauan Bangka Belitung merupakan bagian dari Sabuk Timah Asia Tenggara (Cobbing, 2005). Daerah Bangka Belitung termasuk dalam sabuk timah yang merupakan intrusi pluton granit. Selain merupakan pembawa logam timah, diketahui bahwa pada batuan granit juga merupakan batuan beku pembawa mineral-mineral Rare Earth Elements (REE) seperti monasit, dan xenotim (Azwardi Ichwan, dkk., 2019). Maka dari itu potensi keberadaan timah di kepulauan Bangka Belitung memiliki nilai ekonomis yang tinggi.

Salah satu metode geofisika yang dapat membantu dalam kegiatan eksplorasi pertambangan timah ialah metode Geolistrik. Metode tersebut memanfaatkan sifat penyaluran arus listrik yang diinjeksikan ke dalam tanah melalui dua buah elektrode kemudian diukur respon beda potensial yang terjadi antara dua buah elektrode yang ditancapkan di permukaan (Telford et al., 1990). Didalam Metode geolistrik yang digunakan pada saat dilapangan adalah metode induksi polarisasi (IP). Metode Induced Polarization (IP) adalah bagian dari metoda Geofisik yang memanfaatkan sifat polarisasi karena adanya arus listrik yang dilewatkan dalam medium. Metode ini muncul karena keterbatasan metode Geolistrik. Salah satu teknik pengukuran metode ini adalah dalam kawasan waktu, oleh karena itu disebut Time Domain Induced Polarization (TDIP). Metode IP banyak digunakan untuk eksplorasi base metal. Salah satu parameter terukur yaitu chargeabilitas, dapat dipakai untuk membedakan sifat polarisabel bawah permukaan. Chargeabilitas yang tinggi merupakan indikasi adanya mineral logam. Mineral logam inilah yang merupakan target dari eksplorasi menggunakan metoda IP (Yatini, 2014).

Metode Induksi Polarisasi merupakan metode pengembangan dari geolistrik untuk mengetahui struktur bawah permukaan dengan konsep kelistrikan dan polarisasi. Secara teoritis, sifat kelistrikan medium dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain : Jenis batuan, jenis fluida, pori-pori batuan, ukuran butir penyusun batuan, dan kandungan mineral logam dalam batuan (Pelton, dkk., 1978; Ward, 1990).

Metode Induced Polarization (IP) adalah bagian dari metoda Geofisik yang memanfaatkan sifat polarisasi karena adanya arus listrik yang dilewatkan dalam medium. Metode ini muncul karena keterbatasan metode Geolistrik. Salah satu teknik pengukuran metode ini adalah dalam kawasan waktu, oleh karena itu disebut Time Domain Induced Polarization (TDIP). Metode IP banyak digunakan untuk eksplorasi base metal. Salah satu parameter terukur yaitu chargeabilitas, dapat dipakai untuk membedakan sifat polarisabel bawah permukaan. Chargeabilitas yang tinggi merupakan indikasi adanya mineral logam. Mineral logam inilah yang merupakan target dari eksplorasi menggunakan metoda IP (Yatini dkk, 2014). Metode induksi polarisasi (IP) adalah termasuk teknik yang baru dalam metode geofisika, dan telah digunakan terutama untuk eksplorasi logam dan pencarian air tanah dalam skala yang lebih kecil (Telford dkk, 1990). Dan di dalam penelitian ini digunakan metode Resistivitas dan Induksi Polarisasi dengan konfigurasi dipole-dipole, dipilihnya konfigurasi dipole-dipole ini ialah karena dapat memetakan dengan baik kondisi bawah permukaan secara horizontal maupun secara vertikal (Lowrie, 2007).

Eksplorasi dengan metode IP pada penelitian ini merupakan eksplorasi tingkat lanjut setelah dilakukan pengukuran awal dengan metode magnetik. Metode magnetik mampu melokalisasi lokasi regional dari keberadaan timah primer. Pendekatan dengan metode IP

pada daerah yang sudah dilokalisasi tersebut, menghasilkan nilai yang lebih mendetail terkait posisi keberadaan timah primer. Hal ini dikarenakan metode IP dapat menangkap nilai dari timah primer yang muncul dari parameter resistivitas dan chargeabilitas. Sehingga keberadaan suatu batuan yang mengandung timah primer dapat diketahui posisi dan perkiraan jumlah cadangannya.

1.2. Rumusan Masalah

Identifikasi persebaran timah primer di daerah Batubesi, Belitung Timur dapat dilakukan dengan menggunakan metode induksi polarisasi untuk menentukan persebaran timah primernya, sehingga dalam penelitian ini memiliki beberapa rumusan masalah, yaitu :

1. Bagaimana respon nilai resistivitas dan chargeabilitas terhadap endapan timah primer di bawah permukaan ?
2. Bagaimana distribusi endapan timah primer di bawah permukaan ?
3. Bagaimana model 3D dari persebaran timah primer di daerah penelitian ?
4. Bagaimana perkiraan cadangan sumber daya timah primer di daerah penelitian ?

1.3. Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mengetahui keberadaan timah di bawah permukaan dengan melihat dari hasil interpretasi peta penampang resistivitas dan peta penampang induksi polarisasi (IP) di daerah eksplorasi Bangka Belitung, dengan menginterpretasikan kedua hasil penampang tersebut. Sedangkan tujuan dari penelitian adalah :

1. Memperoleh persebaran nilai chargeabilitas dan resistivitas yang menginterpretasikan adanya endapan timah primer pada daerah penelitian.
2. Mengetahui persebaran endapan timah primer pada daerah penelitian berdasarkan nilai distribusi resistivitas dan chargeabilitas.
3. Mendapatkan model 3D timah primer yang menggambarkan kondisi bawah permukaan.
4. Mengetahui perkiraan jumlah cadangan timah primer di daerah penelitian.

1.4. Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki batasan masalah, agar supaya membantu dalam

menyederhanakan masalah yang dihadapi, sehingga sesuai dengan penelitian yang dilakukan, meliputi :

1. *Software* yang dipilih dan digunakan untuk menginversi data IP yaitu *Software Res2Dinv*.
2. Zona penelitian berada di zona prospek pada kontak batuan sedimen dengan terobosan batuan beku.
3. Penelitian pada timah primer dilakukan dengan tidak dikorelasikan dengan data bor lapangan daerah penelitian.
4. Interpretasi dilakukan dengan mengacu pada klasifikasi data Induksi Polarisasi (IP).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

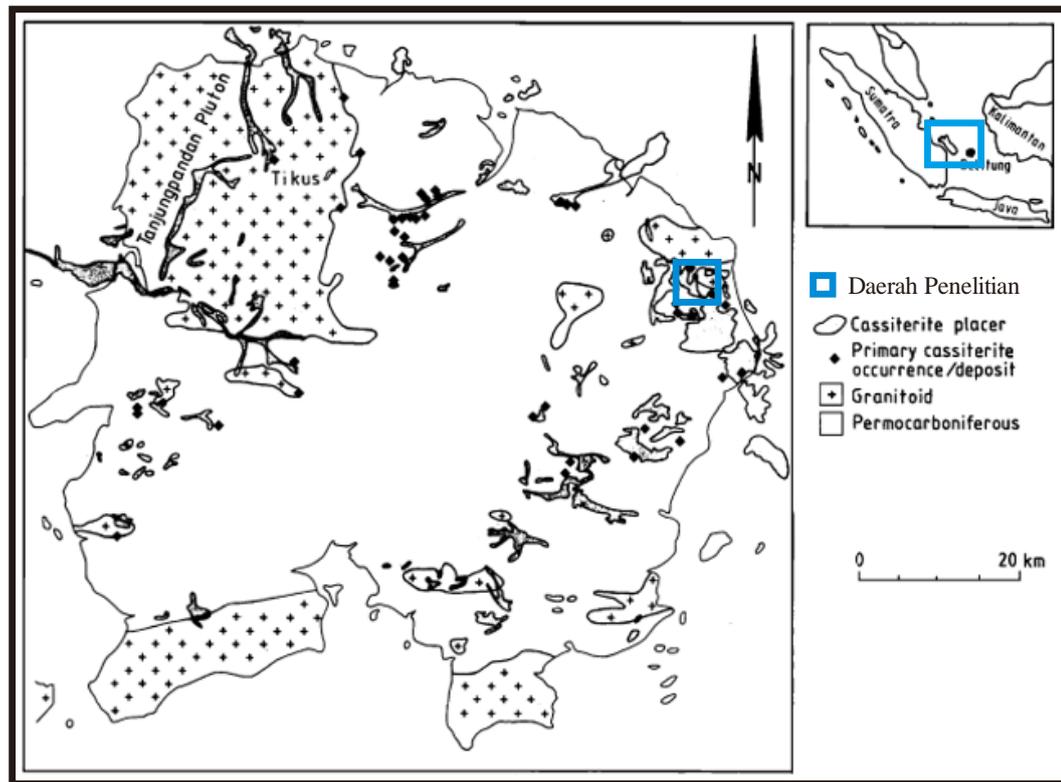
2.1. Geologi Regional

Geologi Regional Pulau Belitung, Pulau ini berada dalam gugusan Kepulauan Bangka Belitung, Pulau Bangka dan Pulau Belitung tersebut memiliki struktur geologi yang hampir sama. Formasi tertua terdiri dari sedimen pelitic dan psammitic. Satuan diabas formasi tanjung siantu bisa dibandingkan dengan tanggul doleritik dan kusen penjabung di Pulau Bangka. Secara horizontal radiolaria rijang memanjang sejajar dengan urat formasi klapa kampak, sebanding dengan radiolaria bantalan siliecos serpih Bangka (Van Bembelen, 1949).

Pulau Belitung adalah suatu daerah dataran yang memiliki elevasi rendah dan memiliki bukit-bukit sisa. Tinggian pada pulau ini telah mengalami proses pelapukan serta tererosi yang mana sudah terjadi cukup lama dan dikontrol oleh naik turunnya muka air laut, litologi penyusun, serta struktur geologi yang berkembang (Lehmann, 1990). Pulau Belitung termasuk dalam gugusan pulau yang berada di paparan sunda yang merupakan bagian dari Dataran Sunda (Van Bembelen, 1949). Pulau Belitung dengan luasan 4595 Km², yang dikelilingi oleh Pulau Sumatera dan Pulau Bangka di sebelah barat, Pulau Kalimantan di sebelah Timur Laut, Kepulauan Riau di sebelah barat laut, Pulau Anambas, Natuna, dan Laut Cina Selatan di sebelah Utara serta Laut Jawa di sebelah Tenggara.

Kajian literatur daerah penelitian dari Baharudin dan Sidarto (1995) mengatakan bahwa struktur geologi yang berkembang di Pulau Belitung antara lain berupa lipatan, sesar, kekar, dan kelurusan. Arah sumbu lipatan umumnya barat laut-tenggara, sedangkan sesar berarah timur laut-barat daya. Aktivitas tektonik dimulai pada masa perm-karbon yang menghasilkan endapan sedimen "*flysch*" (sedimen laut) formasi kelapa kampak, bersamaan dengan ini terjadi tumbukan yang membentuk formasi siantu. Selanjutnya pada masa trias terjadi aktivitas magmatik dan menghasilkan tubuh intrusi granit tanjung pandan. Awal jura aktivitas magmatik terus berlanjut dan menghasilkan penerobosan batuan adamelit baginda, kegiatan magmatik berakhir pada masa kapur dengan terobosan diorit dan granidiorit. Sejak masa kapur sampai kuartar berlangsung proses erosi dan pengendapan yang menghasilkan endapan aluvial. Bila ditinjau dari sudut geologi, penyebaran bijih timah di Indonesia masih merupakan kelanjutan dari sabuk granit yang berumur Yura–Kapur yang membentang mulai dari Myanmar, Muangthai, Malaysia,

Kepulauan Riau (Pulau Singkep, Pulau Karimun dan Pulau Kundur), Pulau Bangka dan Pulau Belitung hingga Pulau Karimata (Syafrizal dkk, 2019). Sabuk Granit sendiri merupakan deretan formasi batuan granit yang kaya akan mineral kasiterit, sehingga kepulauan Bangka Belitung merupakan bagian dari Sabuk Timah Asia Tenggara (Cobbing, 2005).



Gambar 2.1. Peta Geologi Pulau Belitung, Indonesia (Schwartz, 1990).

2.1.1. Struktur Regional Pulau Belitung

Menurut Baharuddin dan Sidarto (1995) struktur geologi yang berkembang di daerah ini antara lain, lipatan, sesar, kekar. Arah sumbu lipatan umumnya Barat laut Tenggara, sedangkan sesar berarah Timur laut-Barat daya. Menurut Katili (1967) antiklin di Pulau Belitung di bagian selatan arah timur-barat seperti di selatan Bangka. Namun di bagian utara Pulau Belitung, harus diamati bahwa kecenderungan sumbu antiklin membengkok dari arah timur ke arah tenggara. Dalam studinya, mengenai sistem patahan dan patahan pada kelompok Riau-Lingga, Tjia (1964) sampai pada kesimpulan bahwa garis-garis topografi negatif mewakili masing-masing patahan aktual dan / atau sesar atau daerah sempit yang dibatasi oleh patahan paralel atau patahan. Di Klapa Kampit, patahan berada

di timur laut, utara-timur laut, utara, barat-barat laut, dan barat laut dengan arah barat laut-tenggara mendominasi.

2.1.2. Stratigrafi Regional Pulau Belitung

Stratigrafi Pulau Belitung, secara umum di daerah penelitian terdapat enam formasi yang berurutan dari tua ke muda yaitu: Diorit Kuarsa Batubesi (Kbd), Granodiorit Burungmandi (Kbg), Adalemit Baginda (Jma), Granit Tanjung pandan (Trtg), Formasi Siantu (PCsv), Formasi Kelapa kampil (PCKs), Formasi Tajam (PCTm), Pasir Berkarbon (Qpk), Endapan Aluvial dan Pantai (Qa). Tersedia gambar susunan dari stratigrafi daerah penelitian (Baharuddin dan Sidarto; 1995) (Tabel 2.2) berikut adalah rincian dari formasi-formasi tersebut :

a. Formasi Kelapa Kampil (PCKs)

Batuan sedimen *flysch* yang terlipat lemah hingga sedang, terdiri atas batupasir malih berselingan dengan batusabak, batulumpur, serpih, batulanau tufan dan rijang. Batupasir malih berwarna putih-kelabu muda, kompak, berbutir halus-kasar, menyudut tanggung- membundar. Tebal perlapisan 2-6 m, setempat dijumpai perlapisan bersusun, silang-siur dan gelembur gelombang. batusabak dan serpih berwarna hitam. Menunjukkan perlapisan sejajar dan mengandung kasiterit dan galena. tebal perlapisan 5-20 cm. batulumpur berwarna hitam, berlembar, tebal perlapisan 4-6 m. batulanau tufaan, kelabu muda, kompak, tebal perlapisan 1-4 m. Rijang, kelabu muda kemerahan, terkersikan, mengandung radiolaria, tebal perlapisan 10-20 cm.

b. Formasi Tajam (PCTm)

Batupasir kuarsa bersisipan batulanau terlipat sedang hingga kuat dan termalihkan rendah. Batupasir berwarna putih-hijau, padat, berbutir halus-kasar, menyudut tanggung-membundar, memperlihatkan perlapisan bersusun dan sejajar, terkekarkan. Batulanau berwarna hijau sampai kecoklatan, termalihkan sedang. tebal lapisan 2-40 cm. Bijih timah primer dijumpai bersama kuarsa dalam urat rekah dan jejaring.

c. Formasi Siantu (PCsv)

Lava basal dan breksi gunung api. Lava basal, hijau tua, pejal, kasatmata, setempat menunjukkan struktur lava bantal; kemas antar butir, terdiri atas

plagioklas, piroksin dan mineral sekunder klorit, kalsit. Breksi gunungapi, fragmen umumnya basal berukuran 20-40 cm, menyudut tanggung-membundar tanggung dengan matriks berukuran pasir kasar. Satuan ini terendapkan dalam lingkungan laut dan di duga menjemari dengan Formasi Kelapakampit.

d. Granit Tanjungpandan (Ttg)

Granit, terdaunkan kelabu muda, holokristalin, berbutir kasar-sangat kasar, butir hipidiomorfik terdiri atas kuarsa, feldspar, plagioklas, biotit, hornblenda. Batan ini termasuk dalam granit tipe "S" (Pitfield, 1987). mengandung greisen yang kaya mineral kasiterit primer. Umur mutlak nya berdasarkan K-Ar berkisar dari 208 sampai 245 juta tahun (Priem et.al., 1975).

e. Adamelit Baginda (Jma)

Adamelit, kelabu sampai kehijauan, holokristalin, ekuigranular, berbutir kasar dengan mineral penyusun terdiri atas kuarsa, feldspar, plagioklas, biotit, hornblenda serta mineral sekunder seperti klorit, karbonat, limonit dan oksida besi. Berdasarkan hasil analisa kimia maka batuan ini termasuk kedalam tipe "I" (Pitfield, 1987) yang tidak mengandung mineral kasiterit. Umur mutlak nya berkisar dari 160 sampai 208 juta tahun. (Priem.al., 1975).

f. Granodiorit Burungmandi (Kbg)

Granodiorit, kelabu muda sampai kehijauan, holokristalin, ekuigranular, hipidiomorfik. Mineral penyusun adalah kuarsa, plagioklas, feldspar, biotit, hornblende dan mineral sekunder seperti klorit, karbonat dan oksida besi.

g. Diorit Kuarsa Batubesi (Kbd)

Satuan ini berupa intrusi plutonik Diorit Kuarsa dengan warna hijau-abu-abu muda. Memiliki derajat kristalisasi holokristalin, berbutir sedang, hipidiomorfik granular, komposisi dari mineral penyusun batuanya adalah kuarsa, plagioklas, K-feldspar, biotit, hornblende, klorit dan oksida besi.

h. Pasir Berkarbon (Qpk)

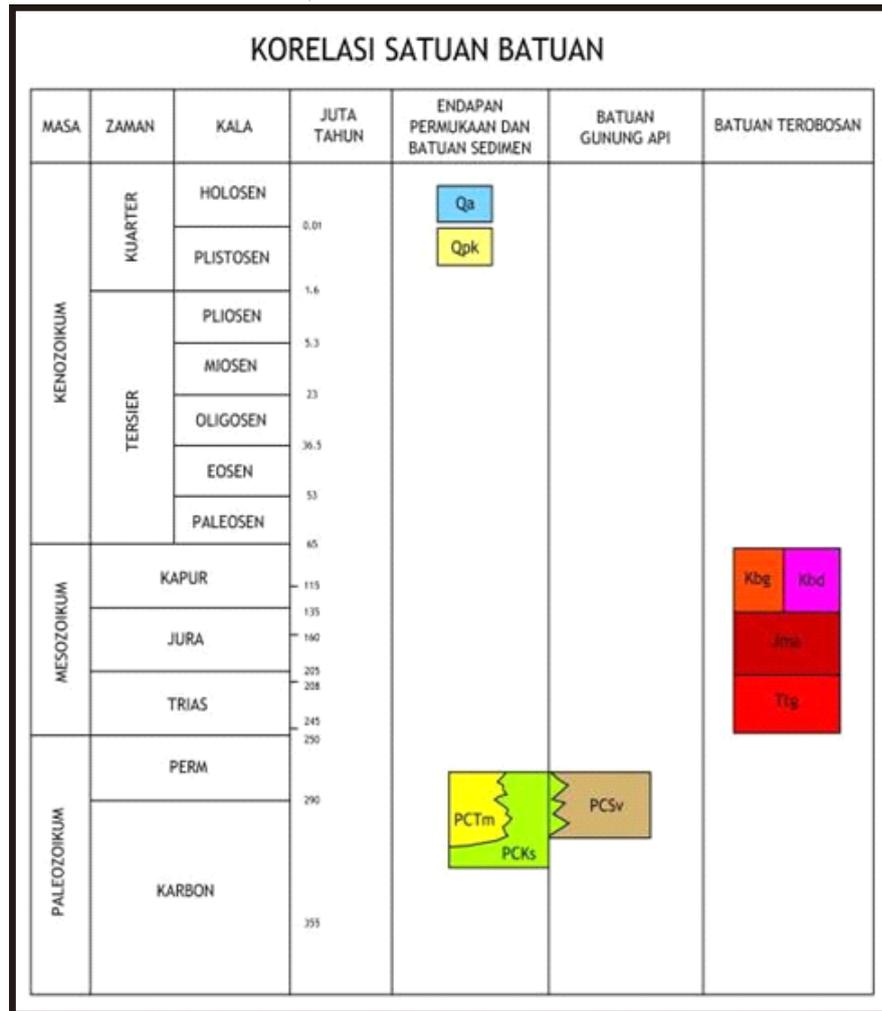
Pasir karbonan kehitaman bersisipan lempung, tidak padu, berbutir sedang-halus, mengandung mineral berat dan kepingan lignit. Setempat, dijumpai

perlapisan yang mengandung mineral kasiterit. Satuan ini menindih tak selaras batuan pra-Tersier. Ketebalan lapisan 1 sampai 5 meter.

i. Endapan aluvial dan pantai (Qa)

Satuan ini terdiri atas butiran berukuran kerikil-kerakal, pasir, lanau, lempung dan pecahan koral.

Tabel 2.1. Tabel Susunan Stratigrafi Regional Pulau Belitung (Baharuddin dan Sidarto, 1995)



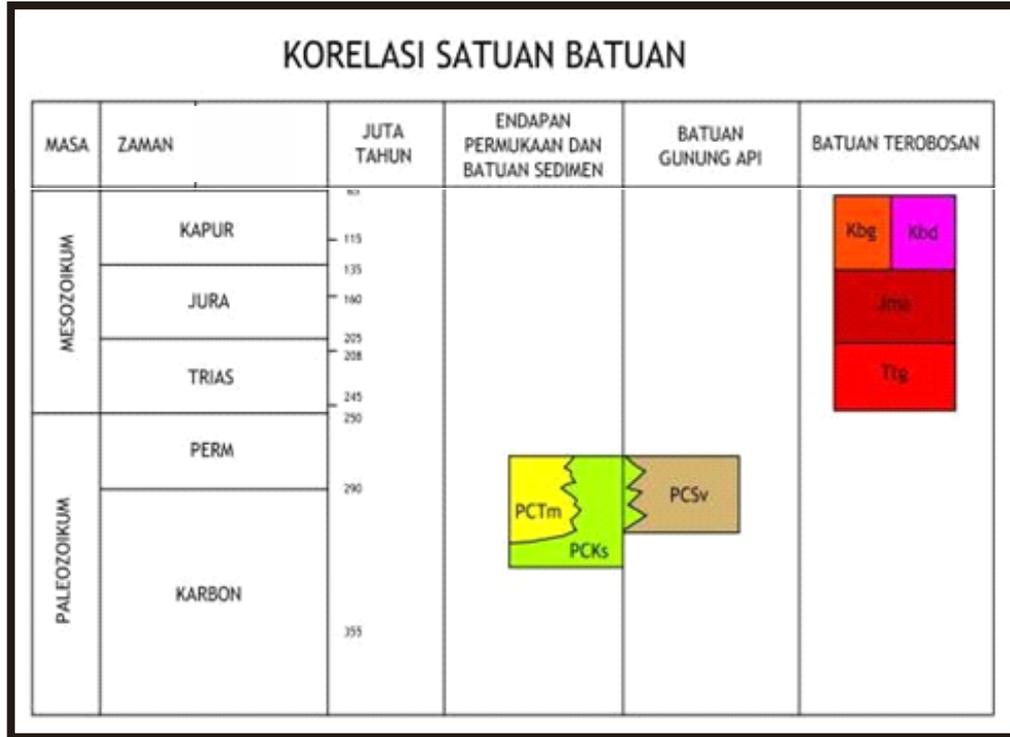
2.2. Geologi Daerah Batubesi

Dalam penelitian ini dilakukan di tambang timah primer terbuka. Kajian literatur diperlukan terutama terhadap geologi daerah penelitian. Kajian tersebut terdiri dari kajian stratigrafi dan kajian struktur geologi yang berkembang di daerah Batubesi.

2.2.1. Stratigrafi Daerah Batubesi

Stratigrafi adalah ilmu yang membahas aturan, hubungan, dan kejadian macam-macam batuan di alam dalam ruang dan waktu (Sandi Stratigrafi Indonesia, 1996). Penelitian dari Indah dan Susana pada tahun 2019 mengatakan bahwa satuan batuan yang terdapat di lokasi penelitian dari tua ke muda adalah Satuan Batupasir Kelapakampit (Permo-Karbon), Satuan Granit Batubesi (Trias), dan Satuan Timbunan (Holosen).

Tabel 2.2. Tabel Susunan Stratigrafi Lokal daerah Batubesi (Baharuddin dan Sidarto, 1995)

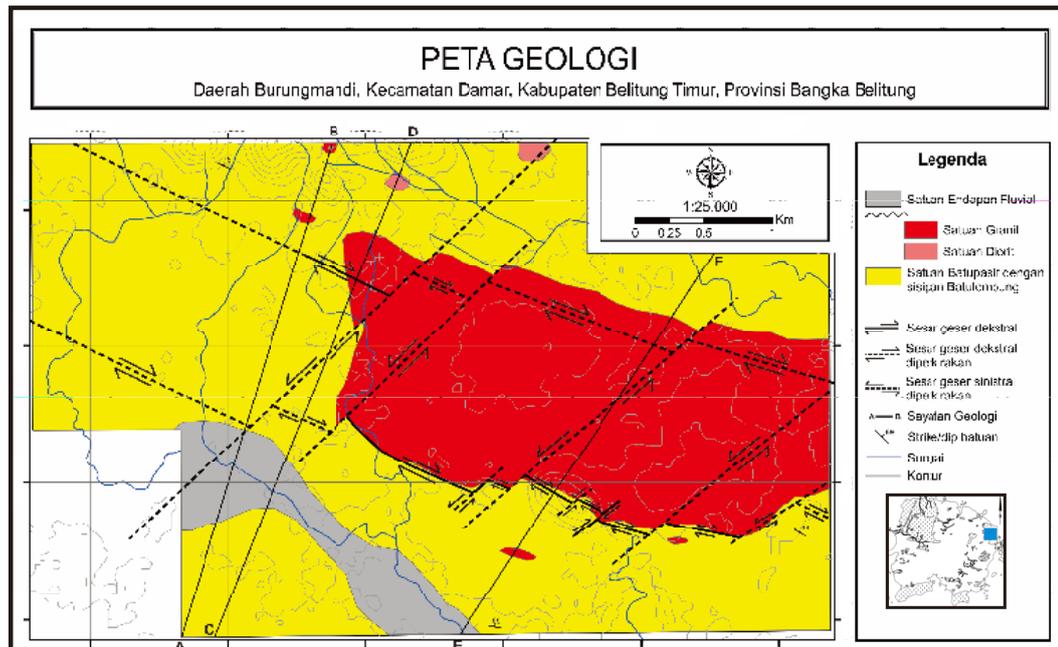


2.2.2. Struktur Geologi Lokal Batubesi

Berdasarkan data penelitian terdahulu (Zainab, 2019) menunjukkan bahwa daerah penelitian termasuk zona yang tersesarkan cukup intens. Struktur geologi pada lokasi penelitian mempengaruhi terjadi alterasi. Hal tersebut dibuktikan dengan pola alterasi yang mengikuti zona dari struktur tersebut.

Sesar pada daerah penelitian batubesi adalah sesar mendatar dan sesar turun (Indah, 2019). Sesar mendatar memiliki arah umum timur laut – barat daya, sedangkan pada sesar turun memiliki arah umum barat laut – tenggara. Sesar turun diinterpretasikan sebagai sesar yang mengontrol proses alterasi dan mineralisasi yang terbentuk pada lokasi penelitian. Hal ini bisa dilihat dari sesar turun dan penyebaran zona alterasi yang terbentuk

memiliki arah yang realtif sama. Sedangkan sesar mendatar diinterpretasikan sebagai struktur *post* mineralisasi. Hal ini dapat dilihat dari penyebaran zona alterasi yang terpotong-potong struktur mendatar. Berikut gambar dari daerah penelitian yang terdapat sesar.



Gambar 2.2. Peta Geologi Lokal Batubesi (PT.Timah, 2016).

2.3. Alterasi Daerah Penelitian Batu Besi

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Timah (2016), alterasi yang berkembang di daerah penelitian terbagi menjadi 3 jenis alterasi antara lain alterasi argilik, alterasi propilitik, dan alterasi greisen (Gambar 2.3).

1. Alterasi Argilik

Alterasi ini memiliki pelamparan yang paling luas pada daerah penelitian. Dicirikan dengan berubahnya komposisi batuan menjadi mineral lempung terutama kaolin yang berwarna putih. Alterasi ini terdapat pada batupasir maupun granit yang ada di daerah penelitian. Sebaran alterasi argilik ini mengikuti struktur yang ada di daerah penelitian. Sehingga apabila struktur yang berkembang di daerah tersebut berarah NW-SE, maka alterasi akan melampar dengan pangjang menerus searah NW-SE (lihat pada peta alterasi). Selain alterasi argilik, disertai juga proses laterisasi. Di beberapa lokasi ditemukan laterisasi pada alterasi argilik, sehingga dalam batuan nampak adanya lempeng-lempeng fragmen berupa oksida besi.

Potensi mineralisasi pada alterasi argilik ini tidak terlalu banyak. Sebagian besar kasiterit terendapkan pada alterasi argilik di granit. Namun konsentrasinya paling banyak yaitu pada alterasi argilik yang berdekatan dengan greisen.

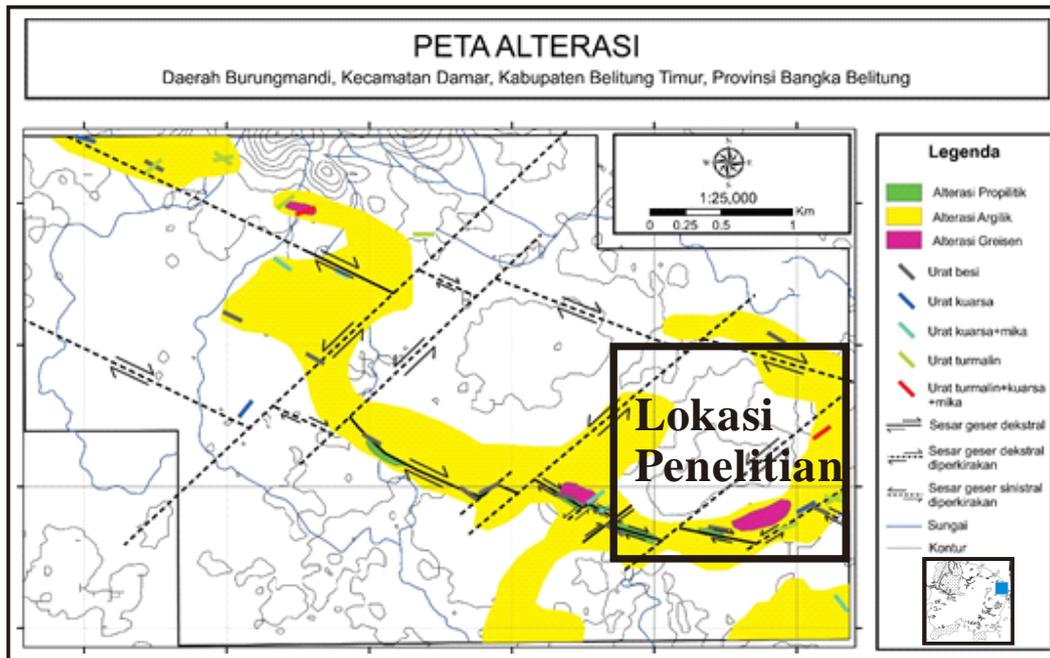
2. Alterasi Propilitik

Alterasi ini memiliki penyebaran yang sempit dan terkonsentrasi di sisi selatan, tepatnya yaitu pada singkapan batubesi. Alterasi propilitik yang dominan ditemukan adalah pada batubesi, dimana batubesi tersebut berubah warna menjadi hijau terang hingga hijau gelap.

Potensi mineralisasi pada alterasi ini terletak di batubesi. Pada batubesi terdapat mineral-mineral lain selain mineral besian (Fe), dan bisa jadi kasiterit ikut termineralisasi di situ. Fakta bahwa singkapan batubesi yang dulunya masif dan menjadi bukit, sekarang sudah menjadi kolong tambang, yang mana dulunya diambil oleh masyarakat. Diperlukan analisis mineralografi untuk mengetahui logam apa saja yang termineralisasi dalam batubesi. Sehingga apabila kasiterit ikut terendapkan, bisa jadi menjadi salah satu prospek mineralisasi timah di daerah Burungmandi.

3. Alterasi Greisen

Alterasi greisen memiliki pelamparan yang setempat-setempat, tidak seperti alterasi argilik yang melampar luas. Alterasi greisen tersebar dekat pada struktur kontak dengan batupasir dan batubesi. Semakin kearah luar, efek alterasinya makin sedikit. Greisen ini dicirikan dengan perubahan mineral utama batuan menjadi mineral-mineral seperti mika, topas, flourit, dan disertai mineralisasi kasiterit. Yang paling tampak yaitu dilihat dari kandungan mika pada batuan. Alterasi greisen akan memiliki kandungan mika yang sangat banyak, dan juga batuan yang teralterasi akan berubah sifatnya menjadi rapuh karena diubah menjadi mineral-mineral lempung dari segi warna, perubahan warna batuan akibat greisen juga akan cukup tampak perbedaannya. Apabila granit biasa dengan alterasi argilik berwarna putih hingga kecoklatan, alterasi greisen berwarna coklat keunguan atau kemerahan hingga kehijauan. Hampir sama dengan alterasi argilik, munculnya alterasi greisen ini juga dipengaruhi oleh struktur geologi yang berkembang di daerah penelitian.



Gambar 2.3. Peta Alterasi Daerah Penelitian (Timah, 2016)

2.4. Proses Terbentuknya Endapan Timah Primer

Endapan timah secara umum terdiri dari dua macam, yaitu endapan timah primer dan endapan timah sekunder (*placer*). Endapan timah primer merupakan endapan bijih timah yang masih berada pada batuan pembawa timah atau batuan tempat bijih timah terbentuk. Batuan pembawa timah yang ada di Indonesia adalah batuan granit yang berumur trias, dengan penyebaran membentang dari China, Thailand, Malaysia, dan Indonesia tepatnya di Kepulauan Bangka Belitung hingga bagian barat Kalimantan. Jalur ini sering disebut dengan sabuk timah asia (*tin belt zone*). Sedangkan endapan timah placer adalah jenis endapan timah yang sudah bergeser dari batuan sumbernya dan terendapkan di tempat yang baru akibat proses perlapukan, transportasi dan pengendapan kembali.

Endapan timah primer terbentuk sebagai bagian dari proses magmatisme pembentukan batuan beku granit yang merupakan batuan bersifat asam. Pada saat-saat akhir pembentukan batuan, yaitu pada suhu sekitar 800° sd 400° celcius, kondisi magma banyak mengandung gas sebagai larutan sisa, yang diantaranya adalah senyawa SnF₄. Senyawa tersebut kemudian bereaksi dengan air (H₂O) membentuk mineral SnO₂ (*Casiterite*) dan HF. Mineral casiterite inilah sebagai mineral pembawa endapan timah di Indonesia.

Sebagai larutan sisa yang banyak mengandung gas maka mudah bergerak mengisi

rongga dan celah batuan yang ada di atasnya. Dengan demikian endapan timah primer terjebak di bagian atas tubuh batuan granit, di celah-celah retakan dan rongga batuan yang berada di atasnya. Sebagian besar endapan timah primer di Bangka dan Belitung sebagian besarnya saat ini ditemukan pada batuan yang sudah lapuk, sehingga mudah dilakukan kegiatan penambangan (Yosatri Rizal, 2018).

2.5. Penelitian Terdahulu

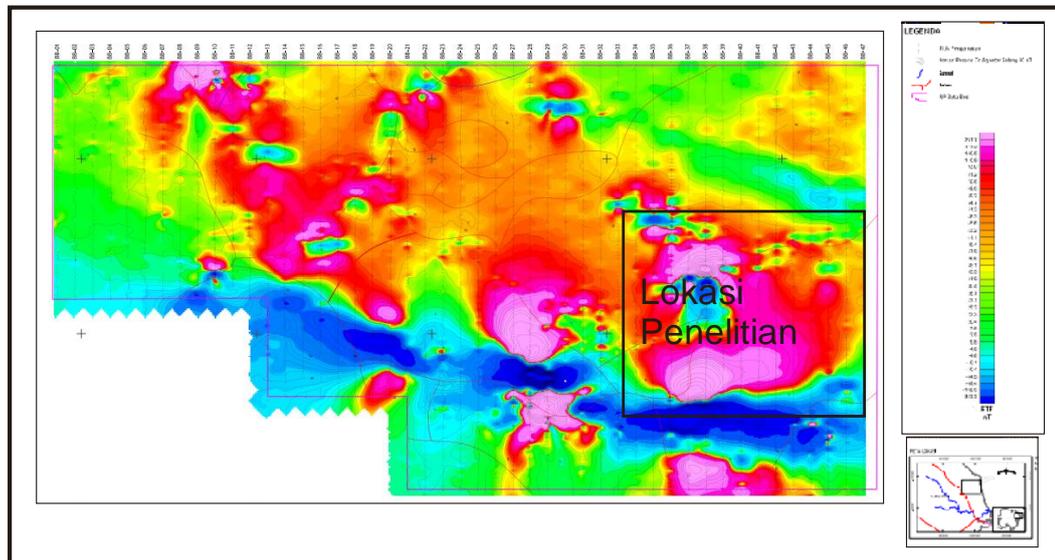
Tabel 2.3. Rangkuman Tabel Penelitian Terdahulu

No	Judul Penelitian	Target, Tempat	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
1	Eksplorasi timah primer di Bukit Puyuh Kecamatan Tempilang, Bangka Barat. Anoeagrah dkk,	Timah Primer di Bukit Puyuh, Bangka Barat	Metode Induksi Polarisasi.	Keberadaan timah primer di interpretasikan pada nilai chargeabilitas rentang nilai 3 sampai 25 msec dan nilai resistivitas 700 – 10000 ohm.m. Adanya indikasi sebagai patahan, rekahan ataupun kekar yang dianggap sebagai jalur timah primer.
2	Penelitian dari PT Timah, Tbk, pada target timah primer di daerah Batubesi, Belitung Timur, di tahun 2015.	Zona Mineralisasi Timah Primer, daerah Batu Besi, Belitung Timur.	Metode geomagnet dengan total 47 lintasan geomagnet.	Terdapat dua zona mineralisasi di bagian selatan dan zona di bagian timur laut. Kedua bagian mineralisasi tersebut dikontrol oleh dugaan sesar dan diperkirakan menerus sampai kedalaman 100 m. terdapat 3 zona mineralisasi, 2 zona di bagian selatan memanjang dari barat sampai timur dengan total luas ± 70.2 Ha dan 1 zona yang relatif kecil di bagian timur laut seluas ± 4.6 Ha.

3	Eksplorasi timah primer di daerah Parit Tebu, Belitung Timur. Yudi aziz dkk, 2014	Timah Primer di Belitung Timur.	Metode Geomagnet	Menunjukkan daerah mineralisasi timah primer berada pada zona sebaran intrusi dari batuan granit dan sedimen yang tersebar didaerah Belitung Timur. (Formasi Kelapa kampil dan Formasi Tajam).
4	Penelitian terhadap struktur geologi yang mengontrol alterasi dan mineralisasi endapan timah primer daerah Bangka Barat, Provinsi Bangka Belitung. Faiz Akbar (2018)	Analisis pengontrol mineralisasi timah primer di Bangka Barat.	Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode pemetaan geologi permukaan.	Timah primer ditemukan dengan kadar lebih dari 100 ppm berada pada urat turmalin dan kuarsa dengan arah relatif Barat Laut – Tenggara. Tipe endapan timah primer dilokasi penelitian adalah tipe endapan greisen dan fase urat. Mineralisasi timah primer daerah Bangka Barat dikontrol oleh struktur geologi.
5	Mencari cebakan timah primer didaerah Perit Tebu, Belitung Timur. Bambang (PSDM).	Timah primer di Belitung Timur	Penelitian menggunakan korelasi metode IP dan geologi (analisa AAS, XRF, Petrografi, Mineralografi), serta didukung oleh data bor	Mineralisasi timah primer berbentuk cebakan berupa urat-urat halus dan sebagian tersebar dalam masa batuan. Mineralisasi terjebak dalam batupasir kuarsa arenit dan meta-batulempung akibat diterobos oleh granit aplitik. Genesa cebakan diklasifikasikan sebagai urat hidrotermal dengan kandungan kaya timah terkonsentrasi pada zona urat kuarsa yang terbreksikan.

Penelitian dari PT Timah, Tbk (gambar 2.4), pada target timah primer didaerah Batubesi, Belitung Timur, di tahun 2015. Penelitian tersebut menggunakan metode geomagnet dengan total 47 lintasan geomagnet. Data geomagnet tersebut akan menjadi data pendukung untuk melakukan survei geofisika tingkat lanjut dengan metode IP. Hasil penelitian tersebut, terdapat dua zona mineralisasi di bagian selatan dan zona di bagian

timur laut. Kedua bagian mineralisasi tersebut dikontrol oleh dugaan sesar dan diperkirakan menerus sampai kedalaman 100 m. Diperinci terdapat 3 zona mineralisasi, 2 zona di bagian selatan memanjang dari barat sampai timur dengan total luas ± 70.2 Ha dan 1 zona yang relatif kecil di bagian timur laut seluas ± 4.6 Ha.



Gambar 2.4. Peta Magnetik PT Timah, Tbk, daerah Batu Besi, Belitung Timur.

Penelitian eksplorasi timah primer dengan metode Induksi Polarisasi pernah dilakukan oleh Anoeagrah dkk., di daerah penelitian yang terletak di Bukit Puyuh Kecamatan Tempilang, Bangka Barat. Metode eksplorasi geofisika yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan timah primer pada penelitian ini adalah metode induksi polarisasi. Akuisisi data dilakukan dengan membentangkan 5 lintasan yang panjang masing-masing 500 meter dengan menggunakan konfigurasi dipole dipole. Hasil pengukuran dan pengolahan data tersebut kemudian diinterpretasi dan dianalisis pada penampang 2D dan 3D dengan dukungan data bor. Hasil interpretasi menyatakan bahwa ada indikasi timah primer yang ditandai dengan nilai resistivitas 700 – 10000 ohm.m. Adanya zona lemah di setiap lintasan yang di indikasikan sebagai patahan, rekahan ataupun kekar yang dianggap sebagai jalur timah primer. Untuk memperkuat dugaan keberadaan timah primernya maka nilai resistivitas digabungkan dengan nilai chargeabilitas yang memiliki rentang nilai 3 sampai 25 msec, pada rentang nilai tersebut terdapat batuan ataupun mineral-mineral pembawa timah primer. Kesimpulan pada penelitian terkait, keberadaan timah primer diinterpretasikan pada nilai chargeabilitas rentang nilai 3 sampai 25 msec dan nilai resistivitas 700 – 10000 ohm.m.

Penelitian terkait eksplorasi timah primer dengan menggunakan metode selain Induksi Polarisasi di daerah Belitung Timur juga sudah pernah dilakukan. Penelitian tersebut dilakukan oleh Yudi, PSDM (2014) dengan menggunakan metode geomagnet untuk melokalisir adanya mineralisasi logam timah primer pada lokasi penelitian. Pengukuran geomagnet dilakukan pada 904 titik ukur dengan spasi 25 meter pada lintasan dan maksimal 200 meter pada titik acak. Hasil dari survei geomagnet di dapatkan nilai anomali magnet total daerah survei mulai dari -90 nT sampai 100 nT. Data geomagnet tersebut menunjukkan daerah mineralisasi timah primer berada pada zona sebaran intrusi dari batuan granit dan sedimen yang tersebar didaerah Belitung Timur (Formasi Kelapa kampit dan Formasi Tajam).

Penelitian pada endapan timah primer didaerah Belitung Timur menggunakan metode selain geofisika pernah dilakukan oleh Rifqi Abbas dkk, (2018). Penelitian tersebut menggunakan pendekatan geologi dengan berdasarkan analisis *Analytical Spectral Devices (ASD)*, *X-Ray Diffraction (XRD)* dan Petrografi. ASD merupakan spektrometer portabel yang dapat mengidentifikasi mineral dengan mengukur absorpsi. Alat ASD bekerja dengan cara ditembakkan pada sampel. Integrasi ketiga metode tersebut dapat menentukan mineralogi dan zona alterasi daerah penelitian : zona alterasi albitisasi, silifikasi, dan argilik.

Penelitian oleh Faiz Akbar (2018) terhadap struktur geologi yang mengontrol alterasi dan mineralisasi endapan timah primer daerah Bangka Barat, Provinsi Bangka Belitung. Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode pemetaan geologi permukaan. Bentuk analisis yang dilakukan adalah analisis *ASD (Analytical Spectral Devices)*, *XRF (X-Ray Fluoroence)*. Hasil dari penelitian, ditemukan keterdapatan timah primer dengan kadar lebih dari 100 ppm berada pada urat turmalin dan kuarsa dengan arah relatif Barat Laut – Tenggara. Tipe endapan timah primer dilokasi penelitian adalah tipe endapan greisen dan fase urat. Mineralisasi timah primer daerah Bangka Barat dikontrol oleh struktur geologi.

Penelitian untuk mencari cebakan timah primer didaerah Perit Tebu, Belitung Timur sudah pernah dilakukan oleh Bambang (PSDM). Penelitian tersebut menggunakan korelasi metode geofisika (Metode Induksi Polarisasi) dan geologi (analisa AAS, XRF, Petrografi, Mineraligrafi), serta didukung oleh data bor pada tiap lintasannya. Jumlah metode Induksi Polarisasi terbentang di 5 lintasan pengukuran. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa mineralisasi timah primer mempunyai bentuk cebakan berupa urat-urat halus dan sebagian tersebar dalam masa batuan. Mineralisasi terjebak dalam batupasir

kuarsa arenit dan metabatulempung akibat diterobos oleh granit aplitik. Genesa cebakan diklasifikasikan sebagai urat hidrotermal dengan kandungan kaya timah terkonsentrasi pada zona urat kuarsa yang terbreksikan.

Penelitian serupa oleh Oddy, (UNDIP, 2017) pada timah primer dengan menggunakan metode pemetaan geologi permukaan dan analisis geokimia di daerah penelitian Bangka Selatan, Provinsi Bangka Belitung. Hasil dari analisis geokimia yang dilakukan pada metode XRF mengetahui bahwa mineralisasi timah primer menyebar dalam intrusi batuan beku. Kadar timah primer pada batuan beku antara 0.001% - 0.034 % serta dalam bentuk urat terutama urat turmalin dengan kadar 0.176% - 0.386%. Zona prospek endapan timah primer berhubungan dengan keberadaan urat turmalin yang berarah Barat Laut – Tenggara.

Penelitian terhadap timah primer dari sudut karakteristik endapannya di daerah Bangka Barat, Provinsi Bangka Belitung dilakukan oleh Miftah (UPN, 2017). Penelitian tersebut menggunakan metode analisa petrografi, mineralgrafi, ASD, dan XRF. Mineralisasi timah primer ditemukan dalam mineral kasiterit (SnO_2) yang terdapat pada urat-urat berlembar kuarsa, clay, dan oksida. Kontrol struktur yang berkembang adalah kekar dan sesar mendatar arah Barat Laut – Tenggara. Endapan timah primernya adalah tipe endapan greisen dalam fase pengendapan urat.

BAB III

DASAR TEORI

3.1. Pengertian Metode Geolistrik

Geolistrik adalah metode geofisika yang mempelajari sifat aliran listrik dalam bumi dan bagaimana mendeteksinya dipermukaan bumi. Dalam hal ini meliputi pengukuran potensial, arus, dan medan elektromagnetik yang terjadi, baik secara alamiah maupun akibat injeksi arus ke dalam bumi. Oleh karena itu metode geolistrik mempunyai banyak macam, termasuk di dalamnya potensial diri, elektromagnetik, induksi polarisasi, dan tahanan jenis (Telford dkk, 1990).

Metode pengamatan geofisika pada dasarnya adalah mengamati gejala-gejala gangguan yang terjadi pada keadaan normal. Gangguan ini dapat bersifat statik dapat juga bersifat dinamik, yaitu gangguan yang dipancarkan ke bawah permukaan bumi. Gejala gangguan yang terdapat pada keadaan normal disebut dengan anomali. Metode Geolistrik merupakan salah satu metode geofisika yang mempelajari sifat aliran listrik di dalam bumi dengan cara pendeteksian di permukaan bumi. Diantaranya meliputi pengukuran potensial, pengukuran arus medan elektromagnetik yang terjadi baik secara alami maupun akibat injeksi arus ke dalam bumi. Oleh karena itu metode geolistrik mempunyai banyak macam, termasuk di dalamnya yaitu : Metode Potensial Diri / Self Potential (SP), Metode Resistivitas / Tahanan Jenis, Arus Telluric, Magnetotelluric, Potensial terimbas (Reynold, 1997).

Pada umumnya metode geolistrik dibagi menjadi dua, yaitu : geolistrik yang bersifat pasif dan geolistrik yang bersifat aktif. Geolistrik yang bersifat pasif dimana energi yang dibutuhkan telah ada terlebih dahulu secara alamiah sehingga tidak diperlukan adanya injeksi/pemasukan arus terlebih dahulu, sedangkan geolistrik yang bersifat aktif dimana aenergi yang dibutuhkan ada, akibat penginjeksian arus ke dalam bumi terlebih dahulu oleh elektroda arus, contoh dari geolistrik jenis ini ada dua metode, yaitu metode resistivitas (*resistivity*) dan polarisasi terimbas (*Induced Polarization*). Metode geolistrik resistivitas merupakan salah satu dari metode geolistrik yang mempelajari sifat resistivitas dari lapisan batuan di dalam bumi. Pada metode ini arus listrik diinjeksikan ke dalam bumi melalui dua buah elektroda arus dan dilakukan pengukuran beda potensial melalui dua buah elektroda potensial, hasilnya berupa beda potensial yang terukur pada elektroda di permukaan. Dari beda potensial yang diukur dapat ditentukan variasi resistivitas masing-masing lapisan di

bawah titik pengukuran (Reynold, 1997).

Di dalam metode geolistrik resistivitas ini terdapat 2 macam metode dalam pengambilan datanya, yaitu : metode geolistrik resistivitas mapping dan metode geolistrik resistivitas sounding. Metode resistivitas mapping merupakan metode resistivitas yang bertujuan untuk mempelajari variasi resistivitas lapisan tanah bawah permukaan secara horizontal. Sedangkan metode geolistrik resistivitas sounding bertujuan untuk mempelajari variasi resistivitas batuan di dalam permukaan bumi secara vertikal.

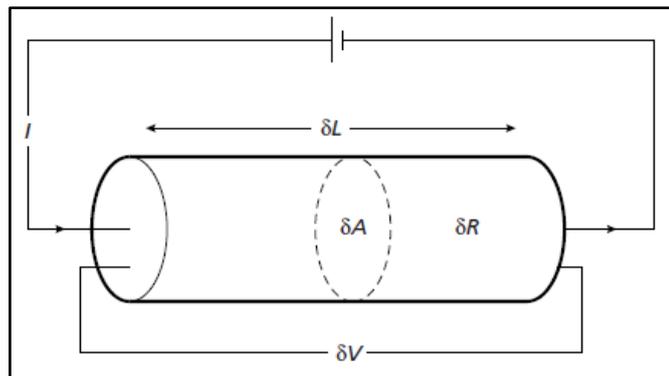
Sifat kelistrikan batuan di bawah permukaan dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu:

- a. Kandungan mineral logam
- b. Kandungan mineral non-logam
- c. Kandungan elektrolit padat
- d. Kandungan air garam
- e. Tekstur batuan
- f. Porositas dan permeabilitas batuan
- g. Temperatur

3.2. Prinsip Dasar Metode Geolistrik

Metode geolistrik memanfaatkan arus searah atau arus bolak-balik untuk menyelidiki sifat-sifat listrik di bawah permukaan, nilai resistivitas material didefinisikan sebagai resistansi dalam ohm meter antara sisi berlawanan dari unit kubus material, dengan persamaan sebagai berikut (penurunan rumus ada didalam lampiran C) :

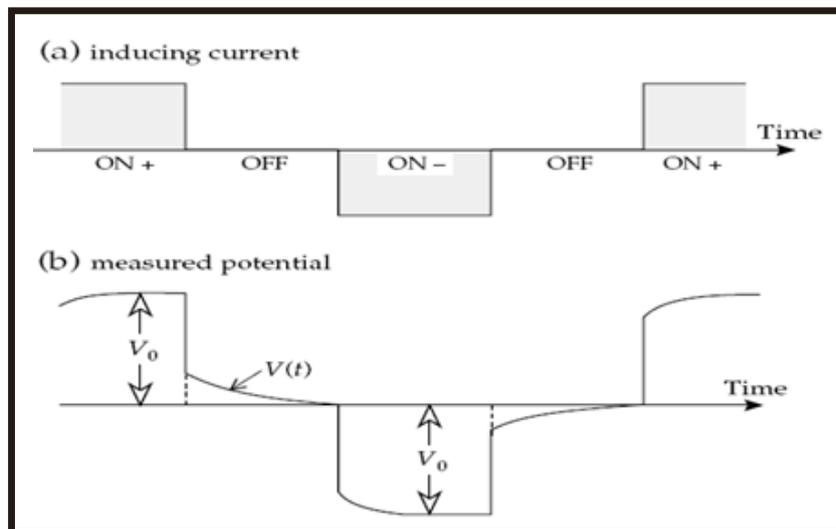
$$\rho = \frac{VA}{IL} \quad (3.1)$$



Gambar 3.1. Parameter yang digunakan dalam menentukan resistivitas
(Philip Kearey, 2002)

3.3. Metode *Induce Polarization* (IP)

Menurut Philip Kearey (2002), bila menggunakan resistivitas empat elektroda yang disebarkan dalam mode DC, saat arus tiba-tiba mati, tegangan antara elektroda potensial tidak langsung turun ke nol namun ada peluruhan. Setelah peluruhan awal yang besar, tegangan mengalami peluruhan bertahap perlahan dan bisa memakan waktu beberapa detik untuk mencapai nilai nol (Gambar 3.2). Fenomena serupa diamati saat arus dinyalakan. Setelah kenaikan tegangan awal tiba-tiba, tegangan meningkat secara bertahap selama interval waktu diskrit ke nilai steady-state (ΔV_c). Dengan demikian, tanah bertindak sebagai kapasitor dan menyimpan muatan listrik, yang kemudian menjadi terpolarisasi secara elektrik.

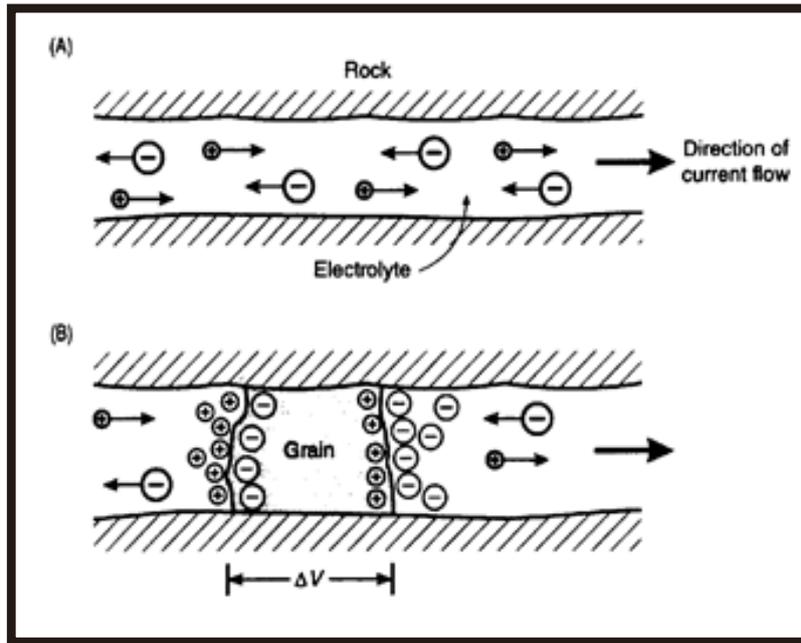


Gambar 3.2. (a) Arus yang dikirim (b) efek dari IP decay terhadap waktu pada injeksi arus gelombang kotak (Telford, et.al.,1990).

Macam-macam polarisasi yang terjadi pada metode Induksi Polarisasi :

1. Polarisasi Elektroda

Partikel mineral logam yang bersentuhan dengan larutan pori-pori batuan akan mendapatkan beda potensial terhadap larutannya meskipun tidak ada arus listrik mengalir. Karena perbedaan aktifitas relatif antara partikel mineral dan larutannya, akan terjadi beda potensial yang besarnya bergantung pada aktifitas relatifnya. (Gambar 3.3)

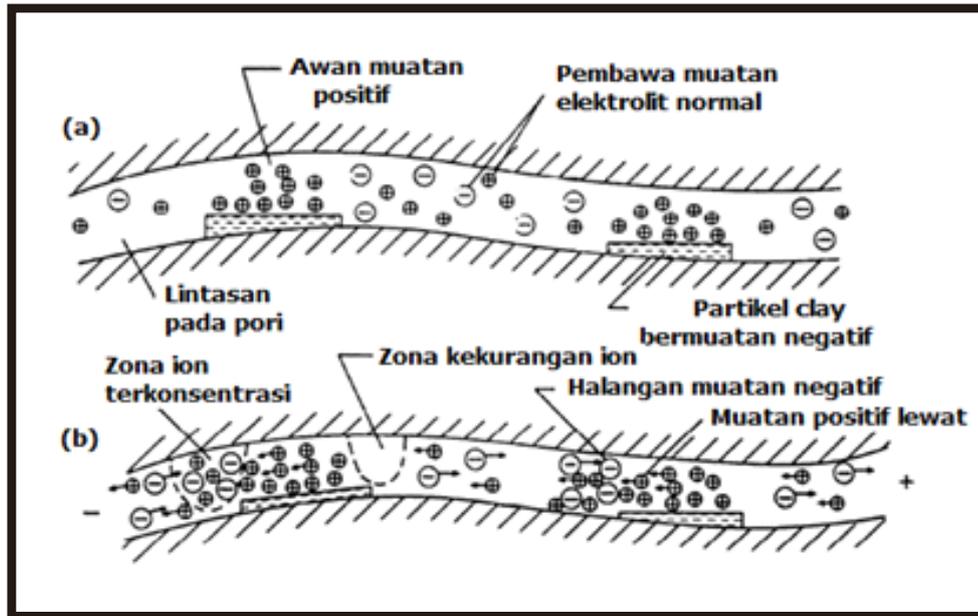


Gambar 3.3. Grain Electrode Polarization (Telford, 1990).

Jika dalam sistem mineral logam dialiri arus listrik akan terjadi pengkutuban muatan pada bidang batas antara mineral logam dengan larutannya. Jika arus listrik dihentikan ion-ion yang terkumpul pada bidang batas akan berdifusi kembali keadaan semula, hal ini sebagai peluruhan potensial.

2. Polarisasi Membran

Latar belakang dalam eksplorasi mineral logam terutama disebabkan mineral-mineral *clay* dalam batuan yang berpori-pori positif dalam larutan pori terkumpul dekat pada bidang batas sedangkan ion-ion negatif tertolak menjauhi bidang batas. (Gambar 3.4)



Gambar 3.4 *Membrane Polarization* (Ward, 1990).

Jika ukuran pori kecil (10-16 cm) pori bersifat sebagai kapiler maka ion-ion positif akan memenuhi diameter kapiler sedangkan ion-ion negatif akan terkumpul di ujung kapiler sehingga terjadi polarisasi muatan pada sistem ini. Jika diberi beda potensial maka ion-ion positif dapat melalui awan ion positif yang terdapat didekat mineral clay tetapi distribusi ion negatif akan terhambat dan terkumpul pada awan ion positif. Jadi awan ion positif sebagai membran pemilih.

3.4. Teknik Pengukuran Metode Induksi Polarisasi

a) Milivolts per volts (IP Percent)

Merupakan besaran pengukuran derajat terpolarisasi yang paling sederhana, yaitu mengukur tegangan residual pada waktu tertentu setelah arus diputuskan. Tegangan residual ini sangat kecil sehingga umumnya dinyatakan dalam milivolt, sedangkan tegangan normal dalam volt. Akibatnya efek Ipyang timbul sering dinyatakan dalam milivolt per volt (mV/V) ataupun sering dinyatakan dalam %. (Telford, 1976).

Untuk memperoleh suatu data, pengukuran polarisasi terimbas ini dapat dilakukan dengan dua macam cara, diantaranya:

b) Domain Waktu (Time Domain)

Jika arus listrik dialirkan ke tanah dan kedua elektroda diamati, akan terlihat bahwa tegangan tidak segera turun menjadi nol setelah arus dimatikan, akan tetapi menurun secara perlahan – lahan menjadi nol. Ke dalam tanah dialirkan arus listrik berbentuk persegi

panjang. Jika arus listrik dihentikan, maka terjadi peluruhan potensial antara kedua elektroda tersebut. Amplitudo tegangan yang turun secara perlahan – lahan tersebut merupakan ukuran dari efek polarisasi terimbas. Cara termudah untuk mengukur efek Induksi Polarisasi adalah dengan pengukuran time-domain (T-D) membandingkan voltase residu $V(t)$ yang ada pada suatu waktu t setelah arus terputus dengan voltase stabil selama arus mengalir. (Telford, 1976).

$$m = \frac{1}{V_c} \int_{t_1}^{t_2} V(t) dt = \frac{A_p}{V_c} \quad (3.2)$$

c) Domain Frekuensi (Frequency Domain)

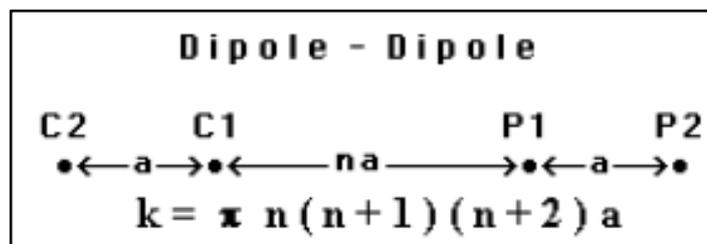
Dalam cara ini, arus yang dimasukkan ke dalam tanah dilakukan dengan frekuensi yang berbeda. Dari respon pada frekuensi yang berbeda ini, tercermin sifat polarisasi dari mineral dalam bumi. Pengukuran fase dalam IP dinyatakan sebagai perbedaan sudut fase diantara sinyal tegangan yang diterima dan bentuk gelombang arus yang masuk, dengan asumsi keduanya berbentuk gelombang sinusoidal. Dalam domain frekuensi (F-D), satu kali pengukuran resistivitas semu menggunakan dua atau lebih frekuensi. (Telford, 1976). Dimana Percent Frequency Effect dirumuskan dalam :

$$PFE = \frac{\rho_l - \rho_h}{\rho_h} 100 \quad (3.3)$$

PFE : Percent Frequency Effect

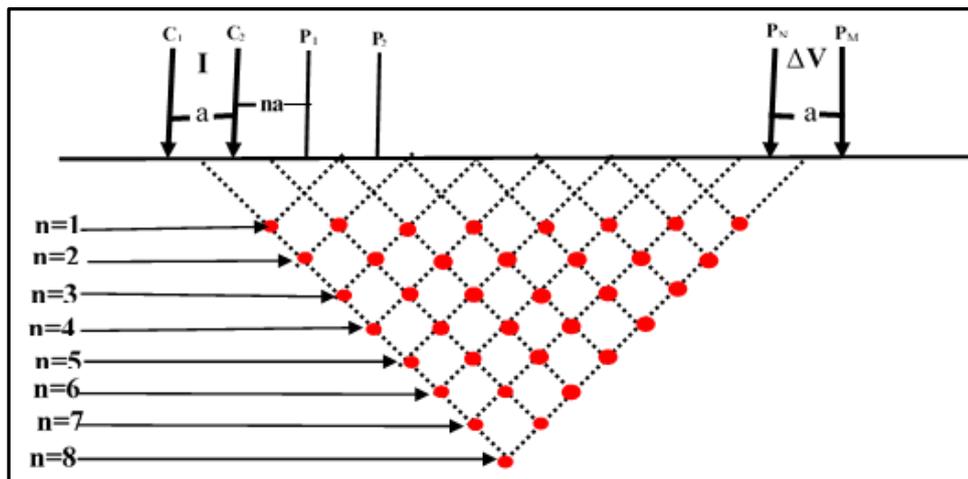
3.5. Konfigurasi Dipole-dipole

Pada prinsipnya konfigurasi dipole-dipole menggunakan 4 buah elektroda, yaitu pasangan elektroda arus yang disebut ‘current dipole AB’ dan pasangan elektroda potensial yang disebut ‘potensial dipole MN’. Pada konfigurasi dipole-dipole, elektroda arus dan elektroda potensial bisa terletak tidak segaris dan tidak simetris.



Gambar 3.5. Konfigurasi Dipole – Dipole (modifikasi dari Loke, 2004)

Untuk menambah kedalaman penetrasi maka jarak 'current dipole' dan 'potensial dipole' diperpanjang, sedangkan jarak elektroda arus dan elektroda potensial dibuat tetap. Hal ini merupakan keunggulan dari konfigurasi dipole-dipole dibandingkan dengan konfigurasi Wenner dan Schlumberger. Karena tanpa memperpanjang kabel bisa mendeteksi batuan yang lebih dalam. Dalam hal ini diperlukan alat pengukur tegangan yang 'high impedance' dan 'high accuracy'. Konfigurasi dipole-dipole lebih banyak digunakan dalam eksplorasi mineral-mineral sulfida dan bahan tambang dengan kedalaman relatif dangkal.



Gambar 3.6. Posisi titik terukur pada konfigurasi Dipole-dipole (Loke, 2001)

Keterangan :

$$r_1 = C1 \text{ sampai } P1$$

$$r_2 = C2 \text{ sampai } P1$$

$$r_3 = C1 \text{ sampai } P2$$

$$r_4 = C2 \text{ sampai } P2$$

$$\Delta V = \rho I / 2\pi \left\{ \left(\frac{1}{r_1} \right) - \left(\frac{1}{r_2} \right) \right\} \quad (3.4)$$

$$P = \pi (2 + n) (1 + n) n.r (\Delta V / I) \quad (3.5)$$

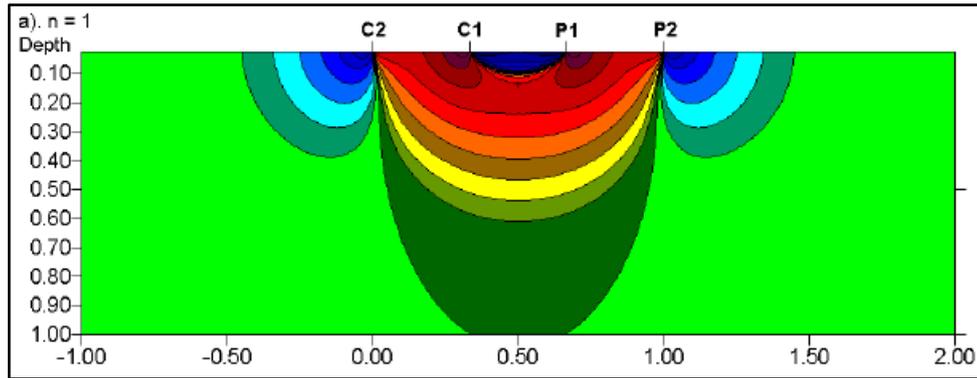
$$K = \pi (2 + n) (1 + n) n.r \quad (3.6)$$

Dimana :

I = arus listrik (mA) pada transmitter K = faktor geometris

ΔV = beda potensial (mV) pada receiver r = jarak elektroda

P = resistivitas semu n = bilangan pengali



Gambar 3.7. Sensitivitas Konfigurasi Dipole-dipole (Loke, 2004).

3.6. Konsep Inversi

Inversi merupakan suatu kesatuan teknik atau metode matematika dan statistika untuk memperoleh informasi dari suatu sistem fisika dengan melakukan pengamatan pada sistem tersebut (Menke, 1984 dalam Grandis, 2009). Menurut Supriyatno (2007), tujuan dari proses inversi adalah untuk mengestimasi parameter fisis batuan yang tidak diketahui sebelumnya (*unknown parameter*). Di dalam proses inversi, kita melakukan analisis terhadap data lapangan dengan cara melakukan pencocokan kurva (*curve fitting*) antara model matematika dan data lapangan.

Pada proses inversi, data (d) dan parameter model (m) dinyatakan ke dalam suatu vektor sebagai berikut:

$$d = (d_1, d_2, d_3, \dots, d_N)^T \quad (3.7)$$

$$m = (m_1, m_2, m_3, \dots, m_M)^T \quad (3.8)$$

Hubungan antara data dan parameter model dapat dituliskan pada persamaan berikut:

$$d = g(m)$$

dimana g merupakan suatu fungsi pemodelan maju (*forward modelling*) yang memetakan model menjadi suatu besaran dalam domain data. Dengan menggunakan fungsi g , maka dimungkinkan untuk dapat memperkirakan nilai data dari suatu model tertentu. Secara matematis, persamaan 3.9 dapat dituliskan kembali berdasarkan setiap komponen parameternya menjadi persamaan 3.10 sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_1(m_1, m_2, \dots, m_M) \\ g_2(m_1, m_2, \dots, m_M) \\ \vdots \\ g_N(m_1, m_2, \dots, m_M) \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

dengan g_i merupakan perkiraan data pada elemen ke- i dari perhitungan nilai g sebagai fungsi parameter model m .

Persamaan 3.10 merupakan persamaan umum dari inversi linear. Tujuan umum dari suatu proses inversi adalah memperkirakan nilai parameter model (m) yang memiliki respon (data perhitungan) yang cocok dengan data lapangan. Pada persamaan inversi linear nilai *error* yang diperoleh masih tinggi, oleh karena itu diterapkan kriteria jumlah kuadrat kesalahan minimum (*least square*) untuk memperoleh parameter model yang lebih sesuai. Dengan menggunakan notasi d_i sebagai data hasil observasi dan data perhitungan merupakan nilai di ruas kanan persamaan, maka perhitungan nilai jumlah kuadrat kesalahan adalah sebagai berikut:

$$E = \sum_{i=1}^N \left(\sum_{j=1}^M G_{ij} m_j - d_i \right)^2 \quad (3.11)$$

$$E = \sum_{i=1}^N \left(\sum_{j=1}^M G_{ij} m_j - d_i \right)^2 \quad (3.12)$$

$$E = [d - Gm]^T [d - Gm] \quad (3.13)$$

$$E = d^T d - d^T Gm - [Gm]^T d + [Gm]^T Gm$$

Turunan fungsi E terhadap parameter model (m) adalah sebagai berikut

$$\frac{E}{m} = -d^T G - G^T d + G^T Gm + [Gm]^T G = 2(-G^T d + G^T Gm) \quad (3.14)$$

Persamaan 3.14 jika disusun kembali dapat digunakan untuk mendapatkan nilai estimasi dari parameter model (m) sebagai solusi dari inversi linear dalam bentuk persamaan 3.15

$$m = [G^T G]^{-1} G^T d \quad (3.15)$$

dimana $G^T G$ merupakan matriks bujur sangkar berukuran ($M \times M$) yang sesuai dengan jumlah parameter model yang dicari (Grandis, 2008).

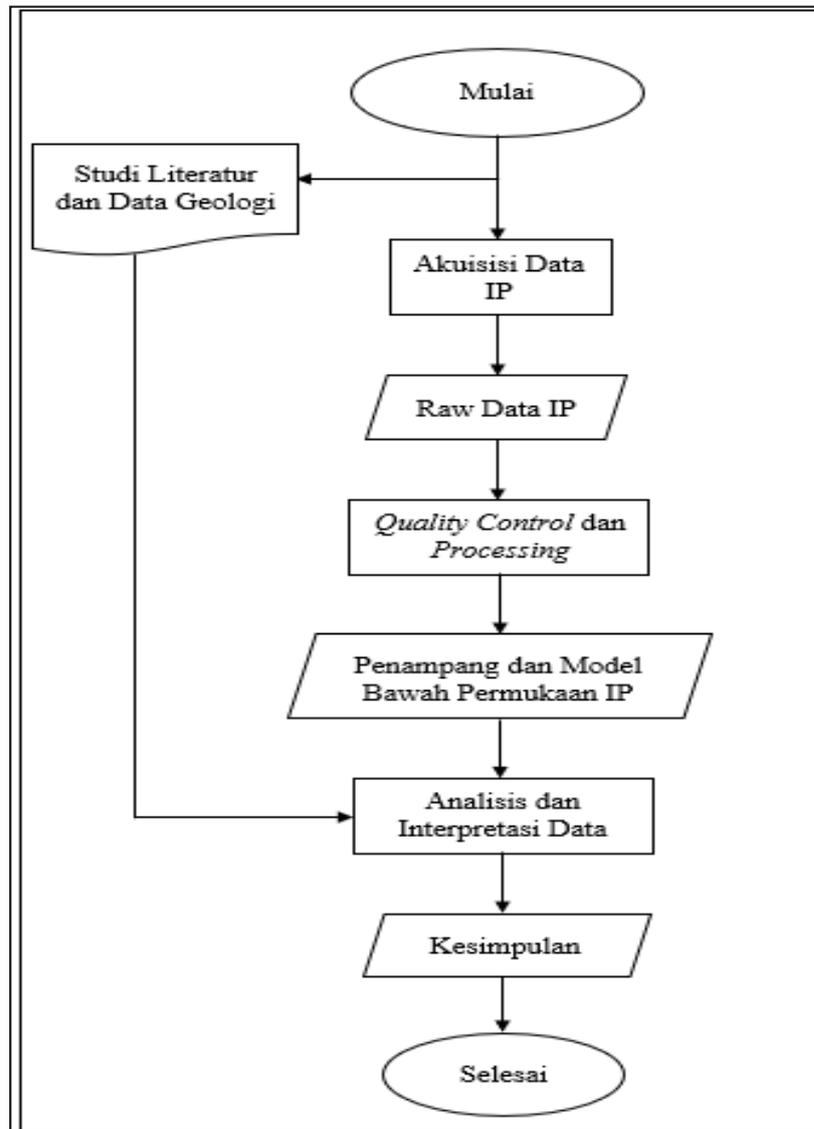
BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian menjelaskan terkait proses pada tahap awal dimulai pengukuran hingga tahap akhir interpretasi data. Secara keseluruhan pengukuran geolistrik Induksi Polarisasi (IP) dilakukan dengan melalui 3 tahapan, yaitu tahap akuisisi data, tahap pengolahan, dan tahap Interpretasi. Setiap tahapan yang dilakukan memiliki perannya masing-masing dalam menentukan 7 zona distribusi persebaran timah primer di daerah penelitian. Bagan diagram alir secara keseluruhan berada pada gambar 4.1. Penelitian dimulai dengan membuat desain survei lintasan pengukuran. Desain survei dibuat berdasarkan studi literatur dan dukungan data geologi daerah penelitian. Tujuan dari pembuatan desain survei adalah untuk menentukan lintasan pengukuran IP sehingga menghasilkan kinerja pengukuran yang efektif dan efisien saat akuisisi dilapangan. Setelah desain survei dibuat, proses selanjutnya adalah proses akuisisi data, agar supaya menghasilkan data pengukuran yang baik maka pada tahap akuisisi data harus diperhatikan prosedur dalam hal ini pengukuran geolistrik IP.

Kemudian, hasil dari akuisisi data masuk kedalam tahap *Quality Control* (QC). Tahapan QC data dalam beberapa kasus penelitian sering di lupakan yang pada akhirnya menghasilkan data yang tidak berkualitas. Maka untuk menghasilkan data yang berkualitas, tahapan QC ini harus dilakukan dengan baik, khususnya untuk mengoreksi data lapangan yang sering sekali terdapat *noise* pada data, juga bertujuan agar supaya RAW data IP yang dihasilkan berkualitas sebelum dilakukan pengolahan data pada tahap selanjutnya. Data pengukuran yang sudah melalui tahap *Quality Control*, maka akan diteruskan dalam proses pengolahan data IP dengan menggunakan *Software Res2Dinv*, yang menghasilkan suatu penampang resistivitas dan chargeabilitas bawah permukaan. Selanjutnya dari hasil penampang tersebut, dilanjutkan dengan tahap hasil dan analisis interpretasi. Interpretasi yang dilakukan dengan cara kualitatif dan kuantitatif, interpretasi kualitatif adalah dengan mengamati nilai resistivitas dan chargeabilitas, sedangkan pada interpretasi kuantitatif adalah dengan membuat model 3D. Analisis dan interpretasi yang dilakukan adalah dengan cara melihat nilai resistivitas dan chargeabilitas yang terlihat pada penampang IP yang mana disandarkan dengan studi literatur serta kajian geologi daerah penelitian, yang menghasilkan interpretasi yang sesuai dengan tujuan penelitian yaitu mengetahui distribusi persebaran timah primer. Setelah dilakukan proses hasil dan analisis interpretasi dari

penampang resistivitas dan chargeabilitas, maka selanjutnya ditarik kesimpulan dari keseluruhan penelitian yang sudah dilakukan, serta saran yang bisa dilakukan untuk dapat memperbaiki proses pada penelitian ini.



Gambar 4.1. Diagram alir penelitian dengan menggunakan metode IP.

4.1. Akuisisi Data

Survei metode Induksi Polarisasi (IP) dimulai dengan tahap akuisisi data lapangan. Tahap ini meliputi desain survei, lokasi penelitian, dan peralatan pengukuran. Tujuan dari tahap akuisisi data ini adalah memperoleh RAW data pengukuran dilapangan penelitian. Lintasan desain survei berjumlah 13 lintasan dengan panjang masing-masing lintasan 1260 meter terkecuali lintasan pertama hanya 840 meter.

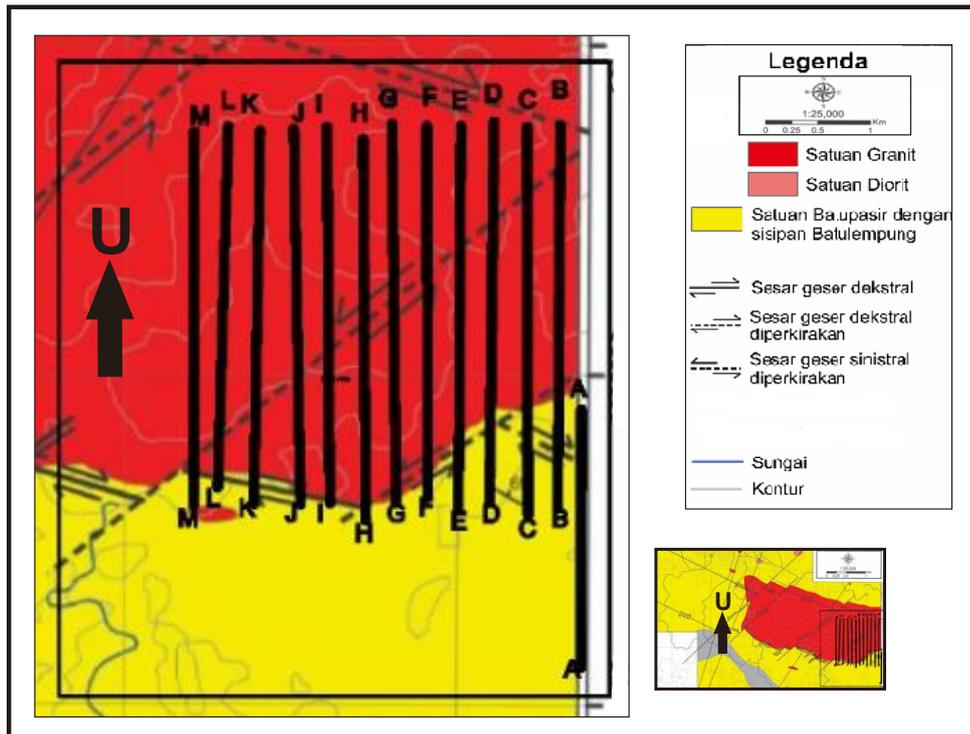
4.2. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada daerah tambang terbuka IUP (Izin Usaha Penambangan) milik PT Timah Tbk, di Kecamatan Damar, Kabupaten Belitung Timur, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. Lokasi pengukuran merupakan daerah dengan satuan batupasir kelapakampit yang diintrusi oleh satuan granit batubesi (Baharuddin dan Sidarto, 1995). Kondisi lapangan pengukuran yang dilewati yaitu hutan dan hamparan lapang (Lampiran B, Foto Dokumentasi Lapangan). Waktu lama penelitian selama 23 Hari, yang dilaksanakan pada tanggal 19 Oktober 2018 hingga 13 November 2018. Pengukuran dilakukan pada saat pagi hari jam 06.00 WIB hingga menjelang malam hari pukul 17.30 WIB.

4.3. Desain Survei

Desain survei adalah susunan lintasan yang akan menjadi pengukuran metode IP. Pembuatan lintasan desain survei ini didasarkan kajian geologi daerah penelitian dan pendekatan awal metode geofisika lainnya. Tujuan desain survei adalah agar supaya pengukuran metode IP dilapangan berjalan efektif, harapannya yang mana dapat memperlihatkan persebaran timah primer dibawah permukaannya.

Gambar 4.2 memperlihatkan desain survei penelitian berjumlah 13 lintasan (Lintasan A hingga M) pengukuran berorientasi arah Selatan – Utara. Panjang bentangan lintasan pertama 840 meter sedangkan pada lintasan kedua hingga ketiga belas masing-masing 1260 meter. Pada tabel 4.2 menyajikan informasi panjang pengukuran lintasan dan arah bentangan lintasan. Panjang pengukuran IP terdapat 2 jenis, jenis pertama memiliki panjang lintasan 840 meter, sedangkan jenis kedua memiliki panjang 1260 meter. Pada pengukuran dengan panjang 1260 meter dilakukan dengan dua kali bentangan pada setiap lintasannya, bentang pertama 0-840 meter, bentangan kedua memiliki panjang dari 840-1260 meter.



Gambar 4.2. Desain Survei Pengukuran IP Daerah Penelitian.

Konfigurasi yang digunakan pada penelitian eksplorasi timah primer adalah konfigurasi *dipole-dipole* dengan jarak spasi antara eletrodanya 10 meter dan panjang lintasan 1260 meter. Nilai n merupakan faktor bilangan bulat ($n = 1 - 8$ atau lebih). Semakin besar nilai n -nya maka penetrasi kedalamannya akan semakin besar juga.

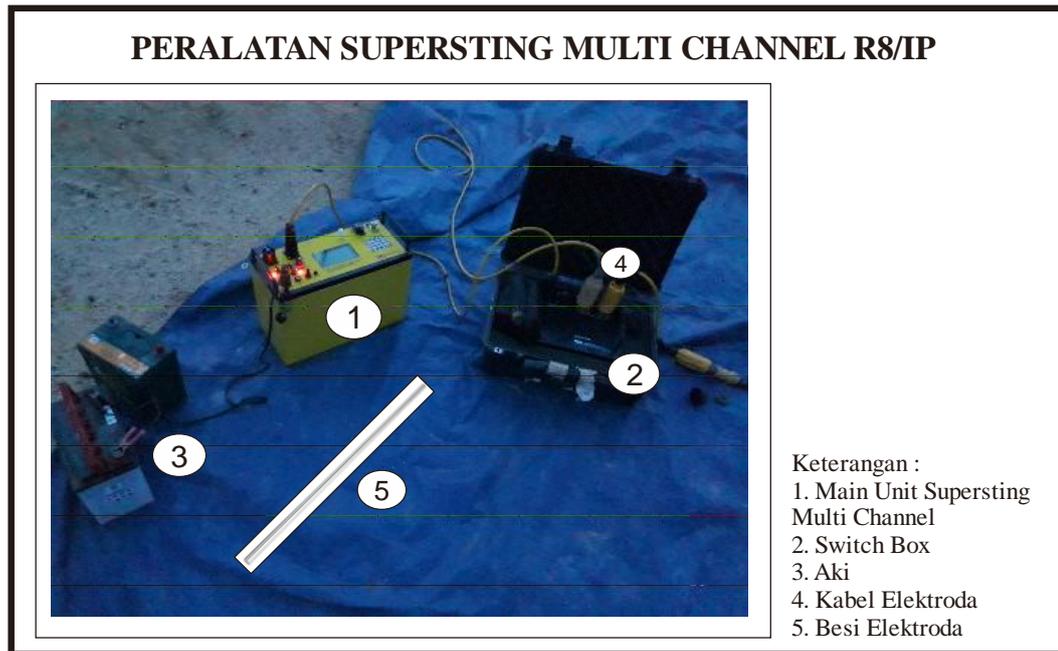
Tabel 4.1. Tabel Lintasan Pengukuran Induksi Polarisasi

Lintasan	Panjang (meter)	Arah
A	840	Selatan - Utara
B	1260	Selatan - Utara
C	1260	Selatan - Utara
D	1260	Selatan - Utara
E	1260	Selatan - Utara
F	1260	Selatan - Utara
G	1260	Selatan - Utara
H	1260	Selatan - Utara
I	1260	Selatan - Utara
J	1260	Selatan - Utara
K	1260	Selatan - Utara
L	1260	Selatan - Utara
M	1260	Selatan - Utara

4.4. Peralatan Pengukuran Lapangan

Akuisisi data metode IP dilapangan menggunakan alat berjenis SuperSting *Multi-Channel R8*. Komponennya berupa main unit, *switch box*, aki, kabel elektroda, dan besi elektrodanya. Fungsi dari komponen tersebut adalah sebagai berikut, aki adalah sebagai genset, main unit adalah sebagai pengatur pengukuran yang akan dilakukan (yaitu termasuk pemilihan konfigurasi, penentuan jarak lintasan, penentuan jarak antar elektroda satu dengan yang lain, pemilihan jumlah n, dan segala proses yang lain sebagainya), *Switch Box* adalah sebagai kotak terminal yang menghubungkan antara main unit dengan elektroda, sedangkan elektroda adalah sebagai alat yang ditancapkan di permukaan tanah yang berfungsi untuk menginjeksikan dan menerima arus listrik di dalam bawah permukaan. Cara penggunaan pada alat ini adalah sebagai berikut, pertama memasang kabel dari aki sebagai genset ke main unit SuperSting, lalu selanjutnya memasang kabel dari *Switch Box* ke Main Unit setelah itu kemudian memasang kabel dari *Switch Box* ke elektroda yang sudah dibentang pada jalur lintasan pengukuran. Pengukuran metode Induksi Polarisasi pada daerah penelitian dilakukan dengan cara *automatic mode*. Peralatan yang digunakan dalam pengambilan data terdiri dari :

1. Main Unit *Supersting Multi Channel R8/IP* yang terdiri dari *console supersting R8/IP, power connector*.
2. *Switch Box SuperSting R8/IP*
3. Aki
4. Kabel sebagai penyambung elektroda
5. Elektroda besi

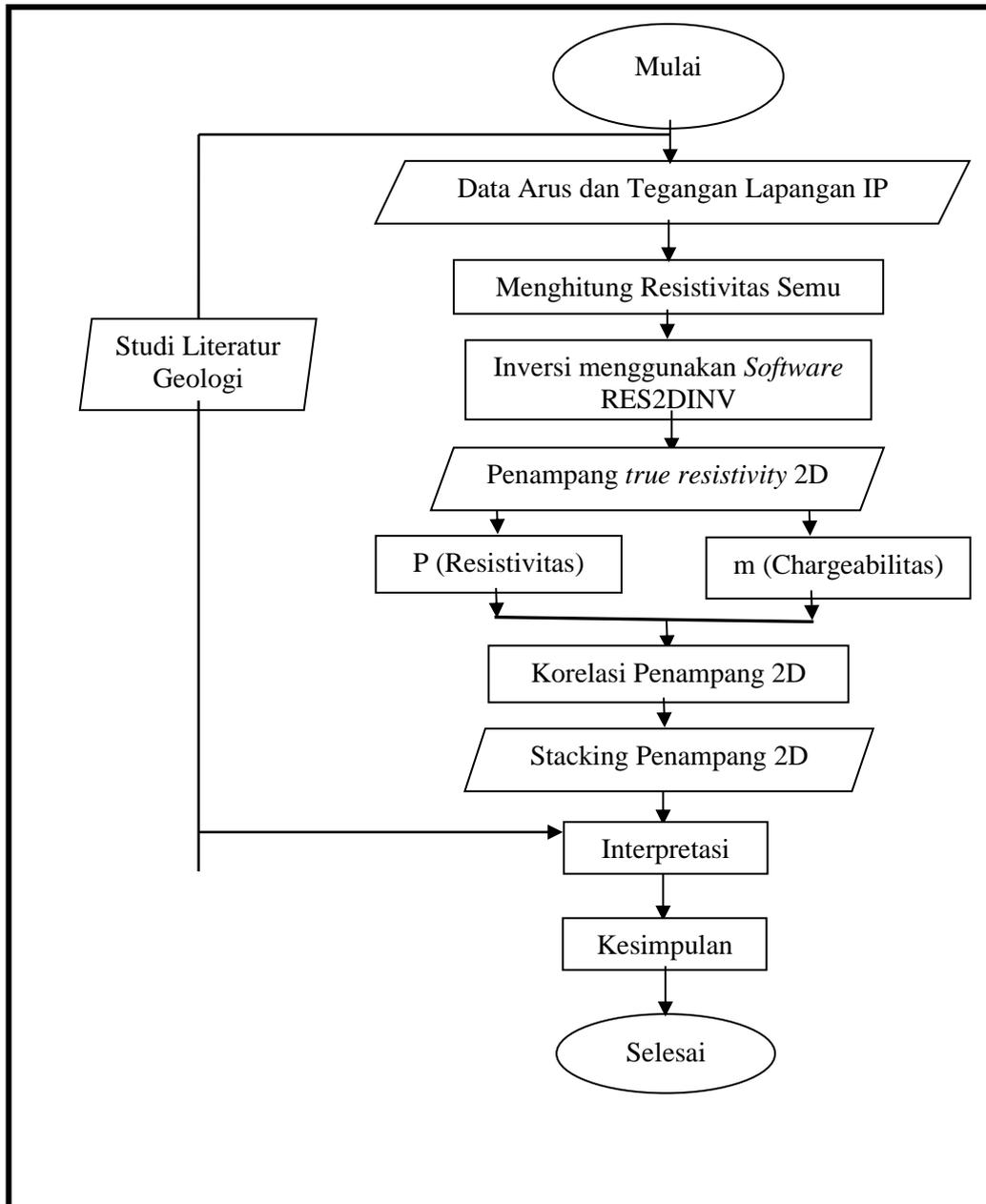


Gambar 4.3. Gambar Peralatan Pengukuran Metode Induksi Polarisasi.

4.5. Pengolahan Data Induksi Polarisasi (IP)

Tahap pengolahan data dimulai dari penyajian Raw Data IP hasil akuisisi di lapangan. Dari data tersebut didapat nilai resistivitas semu. Kemudian dilakukan inversi dengan menggunakan *Software RES2DINV* untuk mendapatkan nilai resistivitas sebenarnya dalam bentuk sajian penampang induksi polarisasi (IP). *Software* atau perangkat lunak yang digunakan dalam pengolahan data IP terdiri dari *Microsoft Excel*, *Res2Dinv*, dan *Discover MapInfo*. Berikut diagram alir pengolahan data, gambar 4.5.

Diagram alir pengolahan data metode IP pada gambar 4.5 menunjukkan bahwa setelah Raw data IP tersedia, proses pertama yaitu QC. Pada proses *Quality Control* (QC) dilakukan penghapusan *bad datum point* pada data. Didalam *Software Res2Dinv* cara menghapus data tersebut dengan memperhatikan sebaran titik datum yang ada. Datum yang melonjak naik ataupun datum yang turun dari persebaran datum yang ada disebut *Bad datum point*. Hal ini biasanya disebabkan oleh elektroda yang menancap dipermukaan tanah yang kurang tertancap dengan baik ataupun faktor lain yang disebabkan adanya sambungan kabel yang kurang baik pemasangannya, dan faktor kesalahan lainnya.



Gambar 4.4. Diagram Alir Pengolahan Data IP dengan *Software Res2Dinv*.

Proses kontrol kualitas data ini dilakukan pada nilai resistivitas dan chargeabilitas yang bernilai negatif. Nilai negatif pada data IP disebabkan oleh beberapa faktor, salahsatunya adalah adanya lapisan yang terdapat nilai chargeabilitas yang menutupi lapisan non-chargeabilitas (Dahlin dan Looke, 2015). Data IP yang bernilai negatif akan dirubah, ada tiga pilihan untuk merubah data negatif tersebut, yang pertama dirubah menjadi nol, dirubah menjadi positif, atau dihilangkan. Sehingga dihasilkan data yang baik.

Proses inversi dengan *Software Res2Dinv* dilakukan dengan *least square inversion*. Proses inversi bertujuan untuk memperkirakan nilai parameter model yang memiliki respon (data perhitungan) yang cocok dengan data lapangan. Pada persamaan inversi linear nilai *error* yang diperoleh masih tinggi, oleh karena itu diterapkan kriteria jumlah kuadrat kesalahan minimum (*least square*) untuk memperoleh parameter model yang lebih sesuai. Hasil dari proses inversi adalah model penampang sebenarnya bawah permukaan.

Proses korelasi pada penampang resistivitas dan chargeabilitas dilakukan dengan menggunakan *Software MapInfo Discover 3D*. Proses korelasi bertujuan untuk mengetahui sebaran nilai resistivitas dan chargeabilitas yang diinterpretasikan sebagai timah primer. Proses ini menghasilkan korelasi penampang 2D dari resistivitas dan chargeabilitas. Korelasi penampang tersebut dapat memperlihatkan kemenerusan zona timah primer bawah permukaan.

4.6. Interpretasi Data Induksi Polarisasi

Interpretasi data merupakan tahapan terakhir yang dilakukan di dalam proses metodologi penelitian. Interpretasi data IP dilakukan dengan cara kualitatif, kuantitatif, dan juga dengan mengkajian data geologi daerah penelitian. Interpretasi secara kuantitatif dari hasil pengolahan data IP adalah dengan membuat model 2D dan 3D. Model 2D dibuat dalam dua bentuk, bentuk yang pertama yaitu model 2D masing-masing lintasan, sedangkan model 2D kedua dengan bentuk korelasi penampang resistivitas dan chargeabilitas. Model 3D dibuat menggunakan nilai resistivitas, yang bertujuan untuk menunjukkan perkiraan dari perebaran timah primer diseluruh lintasan. Sedangkan pada interpretasi secara kualitatif pada pengolahan data Induksi Polarisasi adalah dengan menganalisis hasil dari pengolahan data berupa nilai resistivitas dan chargeabilitas bawah permukaan.

Berikut tabel 4.3 menunjukkan nilai chargeabilitas dalam *text book* Telford. Tabel tersebut menjadi referensi acuan nilai chargeabilitas bawah permukaan meskipun terkadang hasil nilai nya tidak sama. Tabel tersebut memperlihatkan bahwa besarnya nilai chargeabilitas dipengaruhi oleh banyaknya mineral logam yang terkumulasi pada suatu batuan.

Tabel 4.3. Tabel Chargeabilitas sebagai referensi Interpretasi (Telford, 1990)

Material	Chargeability (ms)
----------	--------------------

20 % Sulfides	2000 – 3000
8 – 20 % Sulfides	1000 – 2000
2 – 8 % Sulfides	500 – 1000
Volcanic Tuffs	300 – 800
Sandstone, Siltstone	100 – 500
Dense Volcanic Rocks	100 – 500
Shale	50 – 100
Granite, Grandodiorite	10 – 50
Limestone, Dolomite	10 – 20

Tabel chargeabilitas Telford, 1990 diatas adalah penelitian yang dilakukan dengan skala laboratorium. Tabel tersebut menunjukkan respon dari berbagai batuan mineral dan tandus. Di sini pengisian waktu yang lama (- 1 menit) dan kurva peluruhan terintegrasi selama seluruh durasinya (tidak termasuk awal kebisingan sementara dan akhir)

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian di lapangan Batubesi tujuan utamanya adalah untuk memperoleh nilai resistivitas dan chargeabilitas dari timah primer. Analisis-analisis yang dilakukan untuk menunjukkan nilai resistivitas dan chargeabilitas timah primer. Analisis nilai resistivitas dan chargeabilitas timah primer dilakukan dengan membandingkan antara penelitian ini dengan penelitian terdahulu. Penelitian ini yang dilakukan di daerah Belitung Timur sedangkan penelitian terdahulu dilakukan di daerah Belitung Timur juga. Perbandingan tersebut ada dalam tabel 5.1.

Tabel 5.1. Tabel Perbandingan Nilai Resistivitas dan Chargeabilitas Timah Primer antara Penelitian Terdahulu (Aziz dkk, 2019) dan Penelitian yang dilakukan.

Penelitian Terdahulu		Penelitian yang dilakukan	
Resistivitas (Ohm.m)	1000 – 10000	Resistivitas (Ohm.m)	300 – 10000
Chargeabilitas (ms)	10 – 200	Chargeabilitas (ms)	6 – 10

Penelitian terdahulu yang menjadi perbandingan dalam tabel 5.1 adalah penelitian timah primer yang berada di daerah Belitung Timur. Penelitian terdahulu tersebut mengkorelasikan metode induksi polarisasi dengan data metode magnetik pada daerah penelitian. Hasil dari perbandingan kedua penelitian pada tabel tersebut memperlihatkan nilai resistivitas dan chargeabilitas nya tidak terlalu berbeda. Namun adanya perbandingan dari kedua nilai chargeabilitas memperlihatkan bahwa pada penelitian ini memiliki nilai chargeabilitas yang relatif lebih kecil.

Analisis pada perbedaan nilai chargeabilitas yang relatif lebih kecil diperkirakan karena adanya perbedaan dari cara saat pengambilan data lapangannya. Pada pengambilan data pada penelitian di Belitung Timur ini dilakukan dengan *Multi Channel* yang memiliki kelemahan pada bagian koreksi data IP karena elektroda yang digunakan terbuat dari besi yang seharusnya menggunakan porospout yang diisi oleh larutan elektrolit (CuSO₄). Faktor lain bisa dikarenakan jumlah lintasan yang berbeda antara 5 lintasan dengan 13 lintasan, sehingga data yang didapat lebih heterogen. Proses interpretasi timah primer pada penelitian ini diulas sebagai berikut.

5.1. Klasifikasi Zona Mineralisasi Timah Primer

Secara umum respon Induksi Polarisasi mencerminkan sejauh mana bawah permukaan mampu menyimpan muatan listrik, dengan cara arus listrik frekuensi rendah atau arus searah (DC) diinjeksikan pada dua elektroda arus. Sedangkan beda potensial diukur pada elektroda potensial (Yatini, 2019). Perlu dilakukan penyamaan nilai skala resistivitas dan chargeabilitas. Tujuannya agar supaya memudahkan dalam proses interpretasi. Dasar dari penentuan batas maksimum dan minimum pada nilai resistivitas dan chargeabilitas diambil dari nilai yang dominan muncul pada nilai hasil inversi. Berdasarkan hasil pengolahan inversi pada data lapangan, data resistivitas yang memperlihatkan nilai mayoritas di rentang antara 4 Ω .m sampai 11000 Ω .m, sehingga nilai batas maksimum yang diambil untuk penampang resistivitas adalah nilai 11000 Ω .m. Dan pada penampang chargeabilitas memperlihatkan nilai mayoritas data dengan nilai 0 ms hingga 10 ms, sehingga nilai batas maksimum yang di ambil untuk penampang IP adalah 10 ms. Kemudian dilakukan pengelompokan rentang nilai chargeabilitas dan resistivitas, rendah, sedang, dan tinggi. Tujuan dari pengelompokan yang dilakukan tersebut adalah agar supaya memudahkan dalam proses interpretasi pada daerah penelitian. Tabel 5.2 adalah pengelompokan nilai tersebut.

Tabel 5.2. Klasifikasi nilai resistivitas dan chargeabilitas batuan daerah penelitian

Resistivitas (Ω .m)	Chargeabilitas (ms)	Kategori
< 300	< 1	Rendah
300 – 7000	1-6	Sedang
> 7000	> 6	Tinggi

Kajian literatur daerah penelitian menunjukkan bahwa nilai resistivitas dan chargeabilitas yang didapat pada lokasi penelitian cenderung lebih rendah daripada skala nilai pada umumnya. Di akibatkan karena didaerah penelitian terdapat adanya proses alterasi yang merubah mineral primer menjadi mineral lempung. Selain itu, beberapa faktor yang menyebabkan variasinya nilai resistivitas dilapangan adalah jenis batuan, kandungan mineral logam dalam batuan, kandungan air dalam batuan, dan lain sebagainya. Juga beberapa faktor yang menyebabkan adanya variasi nilai chargeabilitas dilapangan ialah keterdapatn mineral sulfida dalam batuan, perbedaan ukuran pori dalam batuan, dan perbedaan waktu injeksi arus ke dalam bawah permukaan. Tabel 5.2 menyajikan interpretasi dari nilai resistivitas dan nilai chargeabilitas daerah Penelitian.

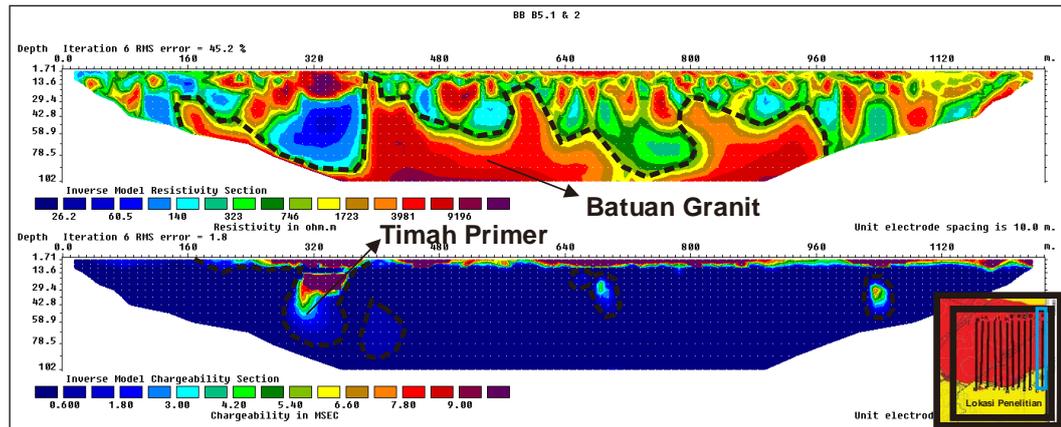
Tabel 5.3. Interpretasi nilai resistivitas dan chargeabilitas daerah penelitian

Resistivitas ($\Omega.m$)	Chargeabilitas (ms)	Interpretasi	Perkiraan Formasi
Sedang-Tinggi	Sedang-Tinggi	Zona mineralisasi Timah Primer	Satuan batupasir Formasi Kelapa Kampit – satuan granit Formasi Batu Besi
Tinggi	Rendah	Batuan Beku <i>fresh</i>	Satuan Granit Formasi Batu Besi
Rendah	Rendah	Batuan tersaturasi air/ Batuan teralterasi lempung	Formasi Kelapa Kampit dan Formasi Granit

Pada tabel 5.3 menunjukkan pembagian interpretasi yang di dasarkan pada variasi nilai resistivitas dan chargeabilitas pada Formasi di daerah penelitian. Nilai resistivitas dan chargeabilitas rendah diinterpretasikan sebagai suatu batuan yang teralterasi mineral lempung. Rentang nilai resistivitas tinggi dan chargeabilitas rendah diinterpretasikan sebagai batuan beku yang masih *fresh*, terletak didalam satuan granit Formasi Batu Besi. Nilai sedang hingga tinggi terindikasi adanya akumulasi mineral logam yang menyebabkan terjadinya efek polarisasi pada batuan. Nilai chargeabilitas sedang hingga tinggi diinterpretasikan berada pada zona sesar pada satuan batupasir Formasi Kelapa Kampit – satuan granit Formasi Batu Besi. Struktur sesar tersebut terisi oleh mineralisasi mineral logam, atau dalam penelitian ini yang dimaksud adalah timah primer. Zona mineralisasi timah primer terdapat di jalur sesar satuan batupasir dan satuan granit.

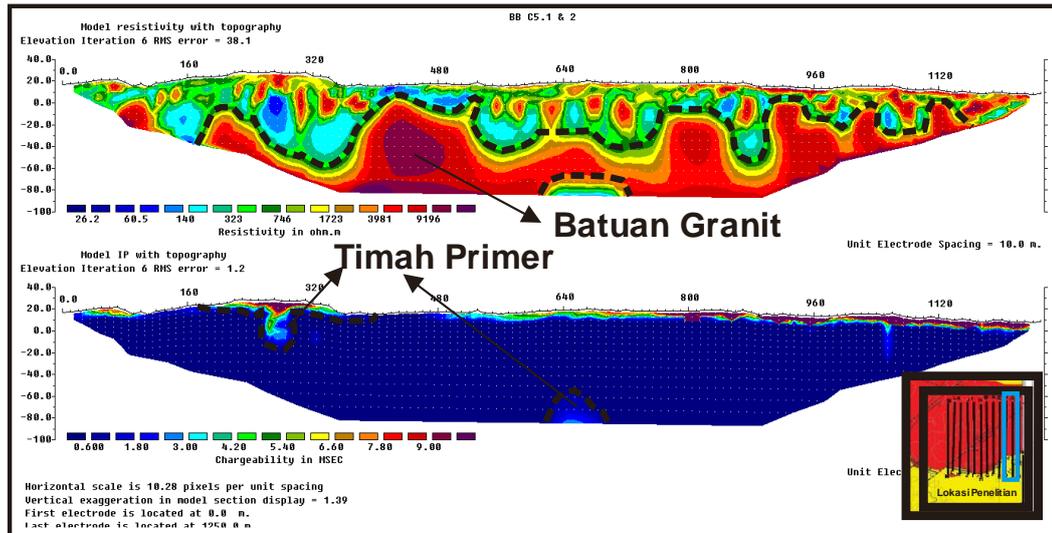
5.2. Interpretasi Penampang Induksi Polarisasi (IP)

Dari seluruh penampang lintasan yang berjumlah 13 lintasan diambil 2 lintasan penampang IP yang menjadi pembahasan pada bab ini. Dua lintasan tersebut yang diperkirakan paling banyak mengandung distribusi timah primernya. Penampang lainnya akan disajikan dalam Lampiran A. Penampang yang dibahas lebih detail adalah penampang pada lintasan Batu Besi B5 (BB B5) dan Batu Besi C5 (BB C5). Berikut ini uraian dari dua lintasan tersebut.



Gambar 5.1. Penampang 2D resistivitas dan IP pada lintasan BB B5 daerah penelitian blok batubesi dengan keterdapatn zona yang diduga mengandung timah primer.

Pengamatan dan analisis yang dilakukan pada penampang lintasan BB B5 memperlihatkan zona mineralisasi timah primer yang ditandai pada garis hitam terputus (Penampang chargeabilitas, gambar 5.1). Tanda tersebut menunjukkan nilai chargeabilitas dengan rentang sedang hingga tinggi, batas nilai chargeabilitas antara 3 ms hingga 10 ms dapat diinterpretasikan adanya zona pengendapan mineral logam pada lokasi tersebut. Nilai resistivitas 2000 ohm.m sampai 9000 ohm.m yang ditandai dengan garis putus-putus (Penampang resistivitas, gambar 5.1) termasuk dalam klasifikasi rentang sedang hingga tinggi. Klasifikasi tersebut diinterpretasikan sebagai suatu intrusi batuan granit di daerah penelitian. Sedangkan adanya respon resistivitas rendah bernilai dibawah 300 ohm.m pada titik lintasan 320 meter diinterpretasikan sebuah kejadian geologi berupa sesar sehingga suatu batuan granit mengalami mineralisasi. Titik 320 meter tersebut diinterpretasikan sebagai struktur sesar yang dikaji dalam literatur geologi daerah penelitian. Jadi pada lintasan BB B5 ini dapat diinterpretasikan keberadaan zona mineralisasi timah primer terdapat pada titik lintasan 320 meter.



Gambar 5.2. Penampang 2D resistivitas dan IP lintasan BB C5 pada daerah penelitian blok batu besi dengan keterdapatn zona yang diduga mengandung timah primer.

Analisis dari model resistivitas pada lintasan BB C5 (gambar 5.2) terdapat nilai resistivitas dominan sedang hingga tinggi. Nilai resistivitas sedang hingga tinggi merupakan interpretasi dari batuan beku granit sebagai tempat termineralisasinya timah primer pada batumannya. Terdapat 2 zona utama yang diduga mengandung timah primer. Zona yang pertama terdapat pada panjang lintasan 320 meter, pada titik pertama ini terdapat nilai chargeabilitas yang memiliki konsentrasi nilai 2 ms hingga 9 ms yang masuk dalam rentang nilai chargeabilitas sedang hingga tinggi. Dan dari nilai chargeabilitas tersebut dapat diindikasikan adanya akumulasi mineral logam yang menyebabkan terjadinya efek polarisasi pada suatu batuan. Pada titik zona pertama yang dimaksud, memiliki nilai resistivitas 100 ohm.m hingga 700 ohm.m yang mana masuk kedalam pembagian rentang rendah hingga sedang, diinterpretasikan terdapat suatu batuan beku yang mengalami proses alterasi sehingga taktur batuan dan komposisi mineral yang terbentuk didalamnya mengalami perubahan sehingga mempengaruhi nilai resistivitasnya menjadi rendah.

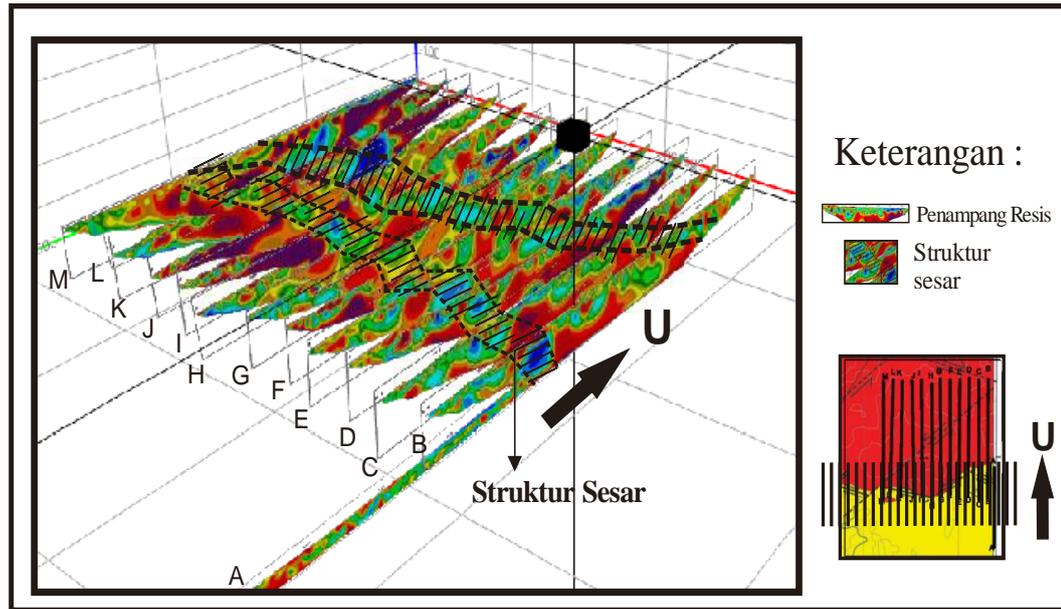
Pada titik zona kedua yang dimaksud berada pada panjang lintasan 640 meter yang memiliki nilai chargeabilitas 1 ms hingga 3 ms yang masuk kedalam pembagian rentang rendah. Diinterpretasikan bahwa terdapat akumulasi mineral logam dalam jumlah sedikit. Seperti yang sudah dipahami dari kajian dasar teori sebelumnya, bahwa nilai chargeabilitas muncul dikarenakan dari efek polarisasi yang terjadi pada mineral logam yang terkandung didalam batuan. Sedangkan pada pembacaan nilai resistivitas pada penampang BB C5 (gambar 5.2) mayoritas bernilai 3000 ohm.m hingga 9000 ohm.m masuk kedalam rentang tinggi. Rentang tinggi diinterpretasikan adalah suatu batuan granit. Adanya variasi dengan

nilai resistivitas sedang hingga rendah tersebut diinterpretasikan sebagai batuan beku yang telah mengalami proses alterasi.

5.3. Korelasi Penampang 2D IP dan Kemenerusan Zona Mineralisasi Timah Primer didaerah Penelitian Belitung Timur

Penampang korelasi resistivitas dan chargeabilitas masing-masing dibuat dengan menggunakan *Software MapInfo Discover 3D*. Penampang resistivitas terkorelasi pada gambar 5.8 menunjukkan bahwa variasi persebaran nilainya berada pada rentang rendah, sedang, hingga tinggi (biru-jingga-merah). Nilai resistivitas sedang hingga rendah diinterpretasikan sebagai struktur patahan pada lokasi tersebut, karena nilai resistivitas dipengaruhi oleh salah satu faktor yaitu kepadatan suatu batuan. Semakin padat (solid) suatu kepadatan batuan maka akan semakin tinggi nilai resistivitasnya, begitu pula sebaliknya yaitu pada nilai resistivitas yang rendah. Kemenerusan zona mineralisasi timah primer didaerah penelitian dikontrol oleh struktur patahan (sesar). Struktur patahan (sesar) terlihat dari indikasi pada nilai resistivitas yang relatif rendah pada penampang resistivitas. Pada respon nilai resistivitas sedang hingga rendah diinterpretasikan sebagai zona patahan pada batuan beku didaerah penelitian. Batuan beku yang tersesarkan ini diinterpretasikan sebagai kontrol proses mineralisasi timah primer pada daerah penelitian.

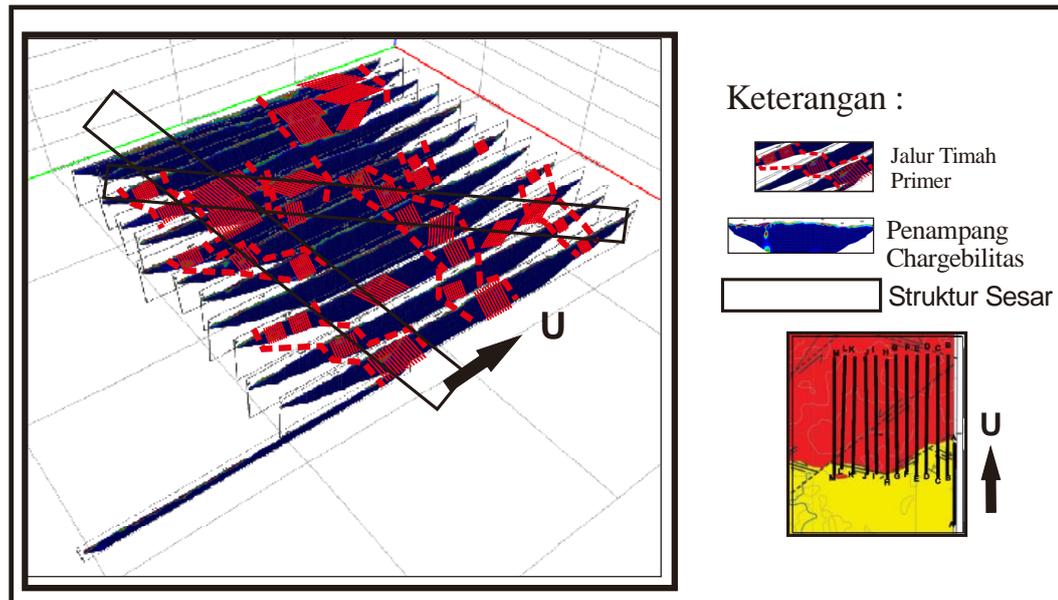
Peta penampang korelasi chargeabilitas memperlihatkan suatu akumulasi mineral logam dibawah permukaan daerah penelitian. Chargeabilitas memiliki parameter *milisecond* (msec), prinsip kerjanya berjalan pada saat suatu kelistrikan dimatikan dan kemudian mengalami waktu peluruhan. Chargeabilitas membaca respon dari mineral logam yang menjadi asosiasi mineral timah primer didaerah penelitian. Terdapat 2 zona lemah pada penampang korelasi resistivitas yang diindikasikan sebagai struktur sesar yang mengontrol zona mineralisasi di daerah penelitian.



Gambar 5.3. Korelasi penampang resistivitas pada daerah penelitian dengan nilai variasi resistivitas rendah, sedang, hingga tinggi. Nilai resistivitas yang cenderung bervariasi tersebut diinterpretasikan sebagai respon batuan pada zona alterasi yang dikontrol oleh sesar.

Gambar 5.4 menunjukkan terdapat jalur-jalur mineralisasi timah primer pada daerah penelitian dengan arah jalur barat - timur. Kemenerusan yang ditunjukkan pada gambar 5.4 adalah zona mineralisasi timah primer. Analisis nilai chargeabilitas yang terlihat menyebar pada peta korelasi chargeabilitas tersebut menunjukkan terdapat zona mineralisasi timah primer yang menyebar mengikuti arah zona struktur sesar yang terjadi pada lapangan daerah penelitian yaitu berada pada sisi selatan dan utara dari bentangan pengukuran IP.

Susunan penampang chargeabilitas (gambar 5.4) yang diarsis memiliki nilai 1 ms hingga 6 ms. Nilai tersebut diinterpretasikan sebagai zona mineralisasi timah primer. Letak zona mineralisasi yang terlihat pada penampang dipengaruhi oleh adanya struktur sesar. Struktur sesar di daerah penelitian berjumlah 2, sesar satu diketahui membentang disisi selatan penampang dan sesar kedua diketahui membentang melewati susunan bentangan IP dilokasi penelitian.

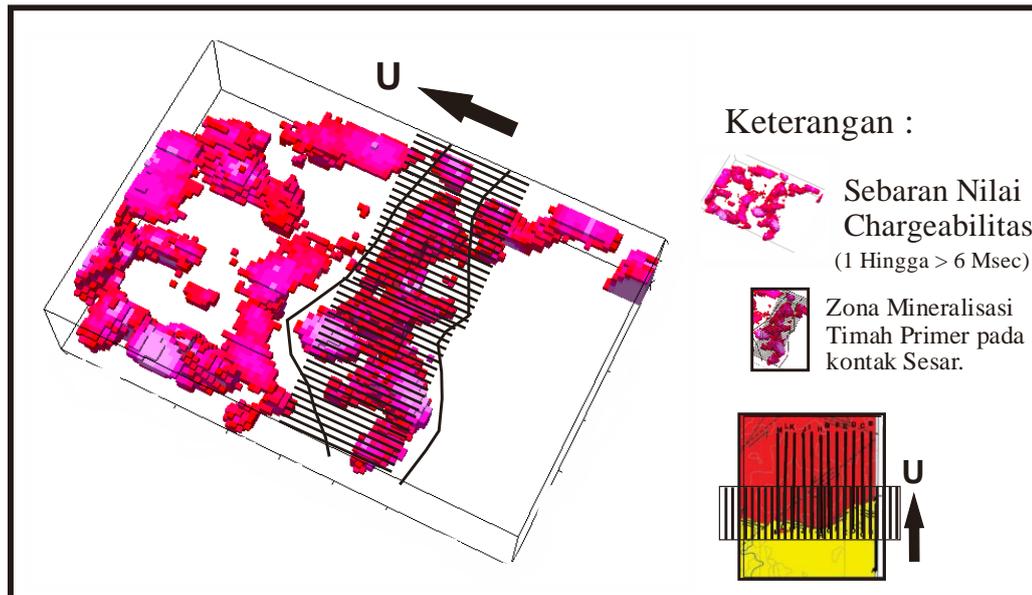


Gambar 5.4. Gambar mineralisasi timah primer pada daerah penelitian. Mineralisasi timah primer yang memiliki arah membentang barat - timur.

5.4. Model 3D Zona Mineralisasi Timah Primer

Gambar 5.5 adalah peta persebaran zona mineralisasi timah primer pada kontak sesar didaerah penelitian. Penentuan zona mineralisasi pada peta tersebut menggunakan data nilai pengukuran chargeabilitas IP. Karena dari parameter nilai chargeabilitas terlihat akumulasi logam timah primer. Pada pembuatan model 3D digunakan metode *cut off* pada nilai chargeabilitas dengan cara mengambil nilai chargeabilitas sedang hingga tinggi saja. Nilai yang digunakan untuk melokalisir daerah yang diarsis dalam penampang 3D gambar 5.5 adalah 1 ms hingga 6 ms. Nilai tersebut diinterpretasikan sebagai lokasi zona mineralisasi timah primer didaerah penelitian. Gambar 5.5 menunjukkan nilai chargeabilitas dari timah primer yang menyebar ke sisi Utara dan Selatan dari lintasan IP.

Zona penyebaran mineralisasi timah primer dikontrol oleh struktur sesar geologi daerah penelitian. Struktur sesar yang membentang disisi Selatan dan membentang Barat Daya – Timur Laut.



Gambar 5.5. Peta persebaran zona mineralisasi daerah penelitian. Menggunakan metode *cut off* atau hanya mengambil nilai chargeabilitas sedang hingga tinggi.

5.5. Metode Perhitungan Cadangan

Penelitian meliputi tahap akuisisi data, pengolahan data dan interpretasi termasuk didalamnya penentuan zona mineralisasi dan perhitungan perkiraan cadangan timah primer didaerah penelitian. Perhitungan tersebut dengan rumus volume X *density* : 1000 (Andi Darmawansyah dkk, 2017). Nilai perhitungan dalam ton dengan *density* adalah nilai ekonomis kandungan timah atau timah dihitung. Diketahui volume 62.504.000 (m³), *density* 0.2 (kg/m³). Jika dihitung sesuai dengan rumus perhitungan cadangan, maka diperoleh cadangan timah primer bernilai 125.008 ton.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang sudah diuraikan pada bab sebelumnya, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil interpretasi dari nilai resistivitas dan chargeabilitas dengan 3 rentan klasifikasi. Klasifikasi nilai rendah $< 300 \Omega.m$ dan < 1 ms sebagai batuan teralterasi lempung, klasifikasi nilai sedang $300-7000 \Omega.m$ dan $1-6$ ms sebagai batuan beku *fresh*, dan klasifikasi nilai tinggi $> 7000 \Omega.m$ dan > 6 ms sebagai zona mineralisasi.
2. Hasil interpretasi pada penampang korelasi nilai resistivitas dan chargeabilitas bahwa persebaran endapan timah primer dibawah permukaan dikontrol oleh adanya struktur sesar. Sesar terletak pada pertemuan satuan batupasir dengan satuan granit.
3. Hasil interpretasi penampang 3D nilai chargeabilitas memperlihatkan keberadaan endapan timah primer yang menyebar mengikuti arah stuktur sesar. Arah struktur sesar dilokasi penelitian membentang disisi Barat Daya – Timur Laut dari lokasi penelitian.
4. Hasil perhitungan perkiraan cadangan timah primer dilokasi penelitian didapat berjumlah 125.008 ton.

6.2. Saran

Saran pada penelitian selanjutnya, diperlukan koreksi data pada saat akuisisi pengambilan data sehingga data yang didapat adalah data yang baik. Pada saat bentang lintasan saran kedepannya dilakukan dengan sekali bentangan sehingga dalam bekerja khususnya waktu dan tenaga akan lebih efisien. Saran selanjutnya dari hasil data penelitian IP ini akan menjadi rekomendasi lokasi titik – titik pengeboran untuk pengambilan sampel lapangan.

///

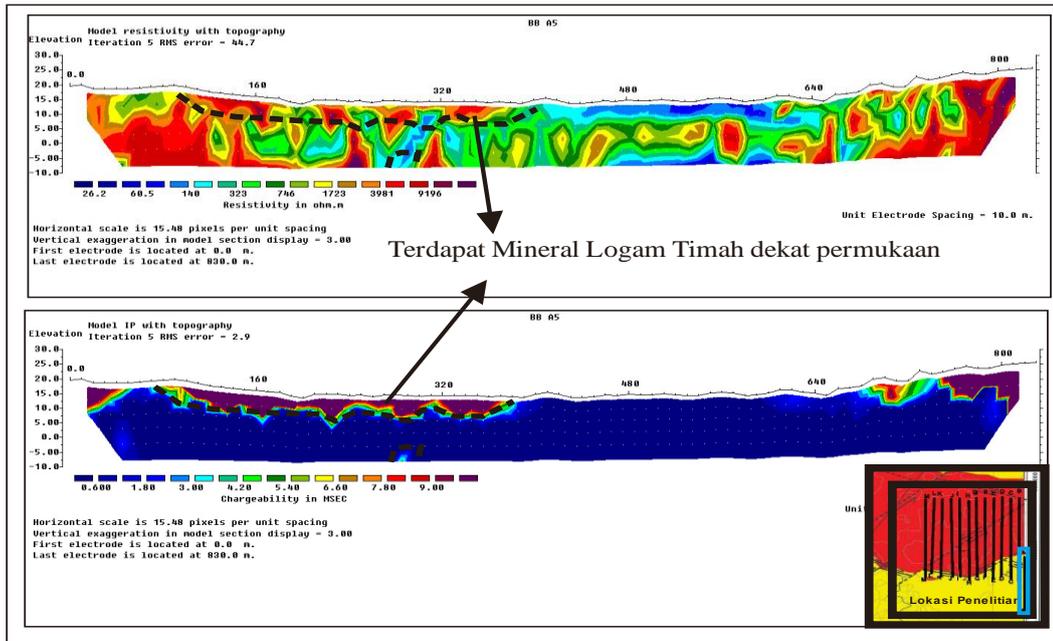
DAFTAR PUSTAKA

- Ananda, Indah M., 2019. Geologi dan Studi Kestabilan Lereng Berdasarkan Metode Analisis Kinematik Tambang Terbuka PT Timah Blok Batubesi, Kabupaten Belitung Timur, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. Penelitian Tugas Akhir. Yogyakarta.
- Anoegrah P.DM., Makhrani, Aswad S. Identifikasi Potensi Sumber daya Timah Primer dengan menggunakan IP dan Resistivitas daerah Bukit Puyuh Kec. Tempilang, Bangka Barat, Bangka Belitung.
- Aziz, Yudi M., dan S. Widodo. 2014. Survei Polarisasi Terimbas (IP) dan Geomagnet Daerah Parit Tebu, Kecamatan Gantung, Kabupaten Belitung Timur. Pusat Sumber Daya Geologi. Bandung
- Baharuddin dan Sidarto. 1995. *Peta Geologi Lembar Belitung, Sumatera*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Bambang. Mencari Cebakan Timah Primer didaerah Parit Tebu, Belitung Timur. PSDM.
- Bemmelen, R. W. V., 1949, *The Geology Of Indonesia Vol 1 A*, Government Printing Office, The Hague.
- Darmawansyah, Andi., Makhrani., Syamsuddin., 2017. Penentuan Potensi Sumberdaya Hipotetik Timah Primer di daerah Air Inas Kepulauan Bangka Belitung. Jurnal Geoceles Vol. 1 No. 2, Oktober 2017, 66 – 71.
- Faiz Akbar. 2018. Penelitian Tugas Akhir terhadap Struktur Geologi yang Mengontrol Alterasi dan Mineralisasi Endapan Timah Primer daerah Bangka Brat, Provinsi Bangka Belitung.
- Grandis, H., 2009, *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Katili, J.A. 1967. Structure and Age of The Indonesian Tin Belt with Special Reference to Bangka. *Tectonophysics*. Pp.403-418. Amsterdam: Elsevier Publishing Company.
- Kearey, Philip. 2002. *An Introduction to Geophysical Exploration*. 3rd Edition. Blackwell ltd. London.
- Lehmann, B. 1990. *Lecture Notes in Earth Sciences: Metallogeny of Tin*. German: Springer-Verlag Berlin Herdelberg.
- Loke, M.H. 2000. *Electrical Imaging Surveys for Environmental and Engineering Studies: A Practical Guide to 2-D and 3-D Surveys*.
<http://www.geometrics.com>.
- Lowrie, William. 2007. *Fundamentals Of Geophysic*. Cambrige University Press.

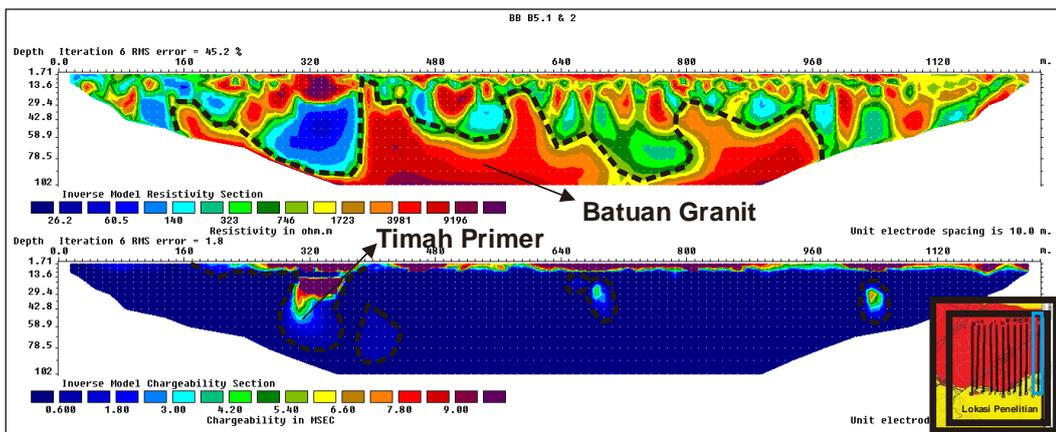
- Miftah, M.A. Sutanto. Suprpto. 2017. Studi Karakteristik Mineralisasi Timah Primer Tipe Endapan Gresisen Blok Lembah Jambu, Tempilang, Bangka Barat, Kepulauan Bangka Belitung. *PROCEEDING, SEMINAR NASIONAL KEBUMIHAN KE-10. GRAHA SABHA PRAMANA*, Yogyakarta.
- Oddy, Pratama. 2017. Identifikasi Zona Prospek Endapan Timah Primer Berdasarkan Pemetaan Geologi Permukaan dan Analisis Geokimia pada Wilayah Kerja Blok Primer PT. Timah Tbk., Daerah Rimbakulit dan sekitarnya, Kec. Toboali, Kab. Bangka Selatan, Prov. Bangka Belitung. Tugas Akhir.
- Penelitian PT. Timah, Tbk. 2015. Eksplorasi Metode Geomagnet pada Zona Mineralisasi Timah Primer daerah Batubesi, Belitung Timur.
- Priem dkk. (1975). Isotope Geochronology in the Indonesian Tin Belt. *Geologie Mijnb Vol. 54*, 61- 70.
- Reynold. 1997. *An Introduction to Applied and Enviromental Geophysics*.Sussex, United Kingdom.
- Rizal, Yosatri. 2018. Analisis Hubungan Laju Pemindahan Tanah Terhadap Pencucian Biji Timah pada Kapal Keruk II Karimata di Laut Permis pada Unit Produksi Laut Bangka PT Timah Tbk. Penelitian Tugas Akhir. Jakarta.
- Sausan, Zainab. 2019. Geologi dan Studi Daya Dukung Serta Kestabilan Lereng *Disposal* Tambang Terbuka Blok A2 PT Timah Batubesi, Kecamatan Damar, Kabupaten Belitung Timur, Provinsi Bangka Belitung. Penelitian Tugas Akhir. Yogyakarta.
- Supriyanto, 2007, *Analisis Data Geofisika: Memahami Teori Inversi*, Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia, Jakarta.
- Syafrizal., Dian A, Satyogroho., Azwardi, I., Indriati, Teti., Nabilla, Amrita O., Gilrandy, W.S. Enrico., Naftali H.H., Arie. 2019. Karakteristik Mineralisasi Ikutan Timah Primer, Sekunder, Dan Tailing Di Bangka Selatan dan Belitung. *Prosiding TPT XXVIII PERHAPI 2019*.
- Telford, Geldart, Sherif. 1979. *„Applied Geophysics 2nd’ Edition*.Cambridge University Press. London-New York-Melbourne.
- Ward, S. H. 1990. Resistivity and Induced Polarization Methods. SEG Investigation on Geophysics #5 Geotecnical and Enviromental Geophysics, I, 147. DCIP:2.1
- Yatini, Santoso D., Laesanpura A., Sulistijo B. 2014. Studi Pemodelan Respon Polarisasi Terinduksi dalam Kawasan Waktu (TDIP) terhadap Kandungan Mineral Logam, Sebuah Hasil Awal. *Indonesian Journal of Applied Physics* (2014) Vol.4 No.2 halaman 162.

LAMPIRAN A PENAMPANG LINTASAN PENGUKURAN

Lampiran A menampilkan penampang-penampang lintasan pengukuran Induksi Polarisasi (IP). Terdapat 13 lintasan dengan nama Lintasan BB A5, Lintasan BB B5,....,Lintasan BB M5.

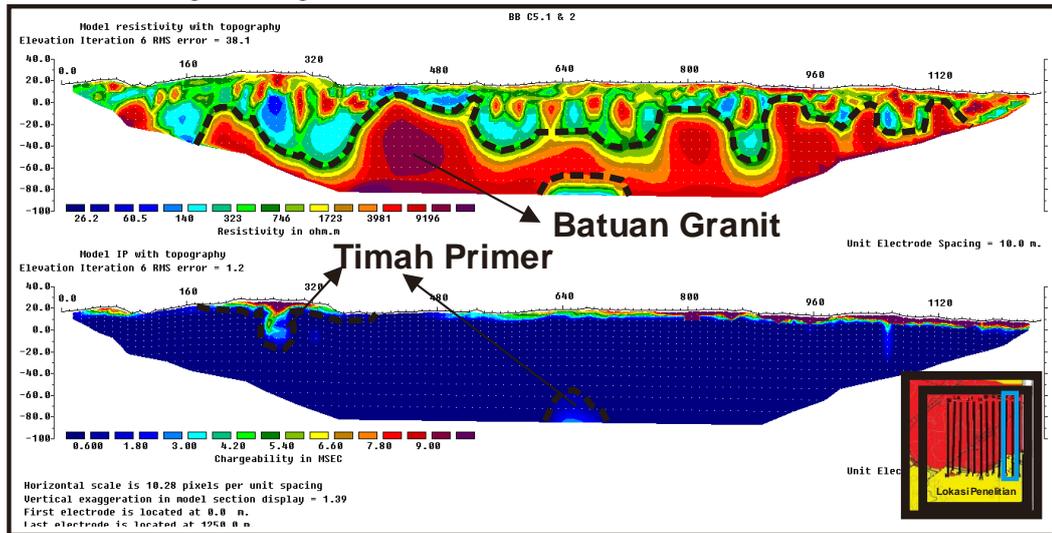


Gambar Lampiran A.1. Penampang IP Lintasan BB A5. Pada arsiran bertanda panah memperlihatkan nilai resistivitas sedang hingga tinggi dan nilai chargeabilitas tinggi. Nilai pada arsiran terletak dipermukaan, di interpretasikan adanya suatu nilai mineral logam timah primer diatas permukaan tanah.

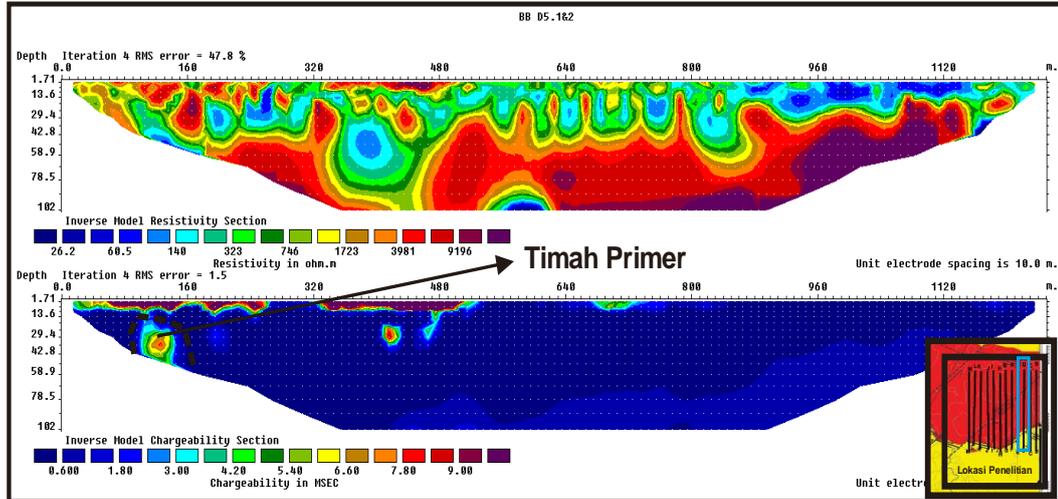


Gambar A.2. Penampang IP Lintasan BB B5. Arsiran pada penampang diatas memperlihatkan nilai resistivitas rendah dan nilai chargeabilitas tinggi. Di

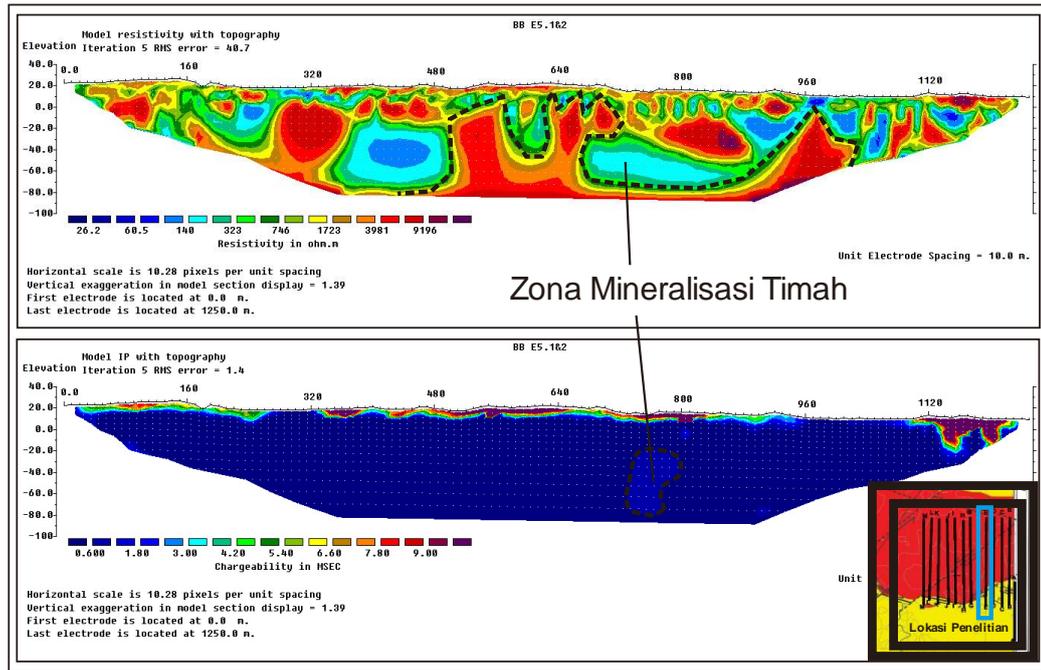
intrepretasikan sebagai suatu mineralisasi timah primer pada suatu sesar yang memotong batuan granit.



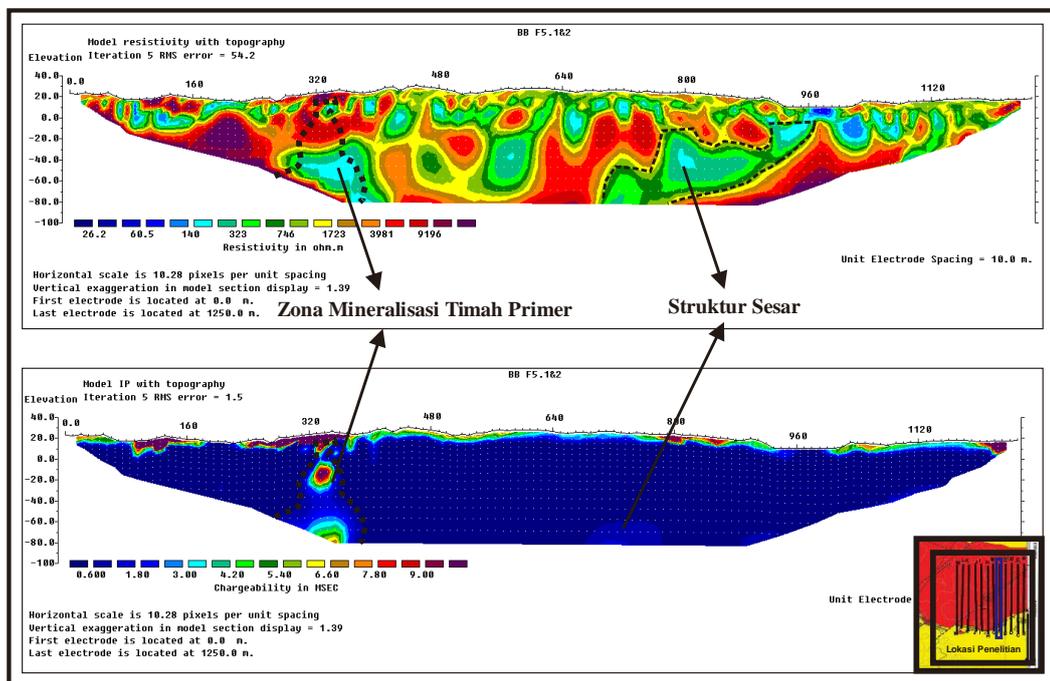
Gambar A.3. Penampang IP Lintasan BB C5. Arsiran pada penampang memperlihatkan beberapa anomali. Pada arsiran bentangan 320 dan 640 meter bernilai resistivitas sedang hingga rendah dan nilai chargeabilitasnya sedang hingga tinggi, di interpretasikan terdapat suatu mineral timah didekat permukaan. Pada arsiran 640 meter terdapat nilai chargeabilitas sedang pada kedalaman lebih dari 80 meter dibawah permukaan tanah dengan nilai resistivitas sedang, di interpretasikan sebagai suatu mineralisasi timah primer pada suatu sesar.



Gambar A.4. Penampang IP Lintasan BB D5. Pada arsiran memperlihatkan nilai resistivitas tinggi dan nilai chargeabilitas yang sedang. Di interpretasikan sebagai zona mineralisasi yang berada pada suatu tubuh batuan granit.

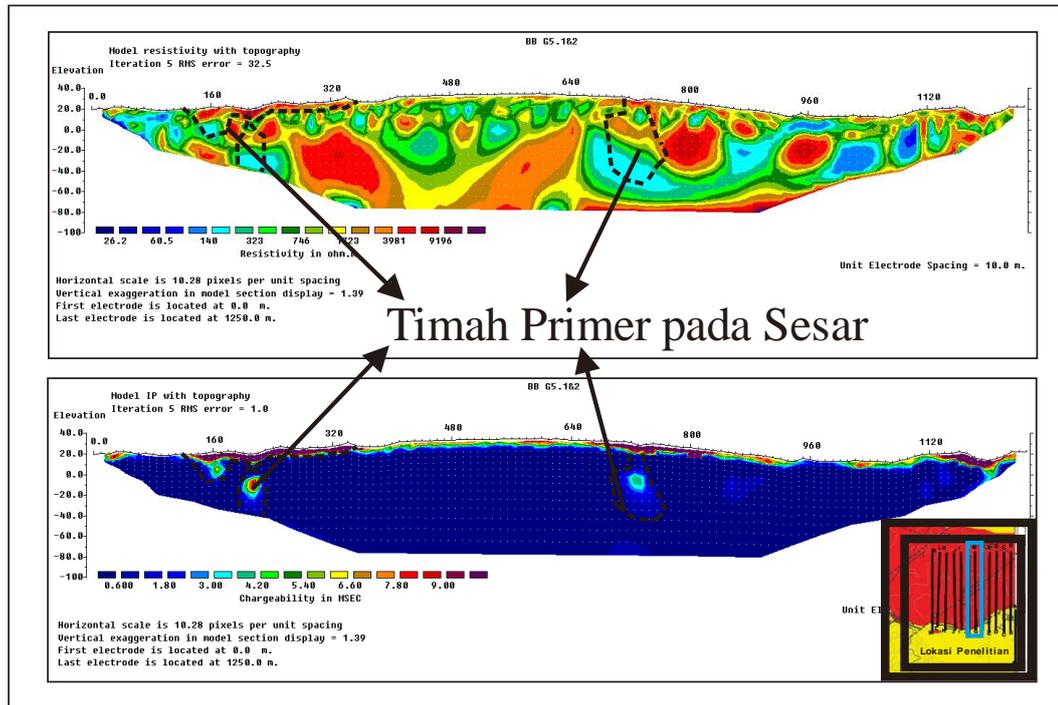


Gambar A.5. Penampang IP Lintasan BB E5. Pada panah diarsiran zona mineralisasi timah diperlihatkan nilai chargeabilitas yang sedang dan nilai resistivitas yang rendah. Di interpretasikan sebagai zona mineralisasi yang berada suatu batuan tersaturasi/ batuan lempung

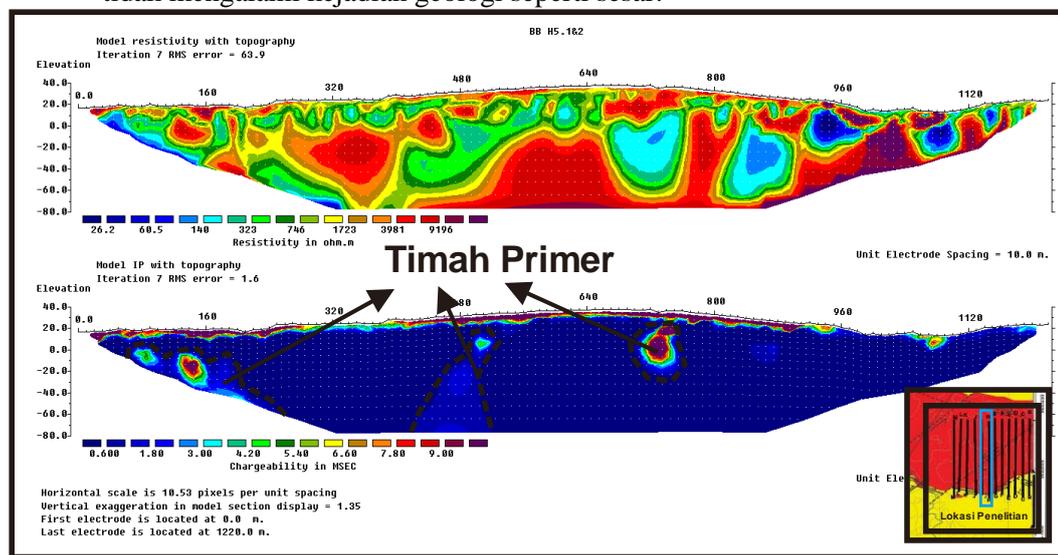


Gambar A.6. Penampang IP Lintasan BB F5. Arsiran pada zona mineralisasi timah primer memperlihatkan nilai chargeabilitas yang tinggi dan nilai resistivitas rendah. Sedangkan pada arsiran struktur sesar diketahui nilai resistivitas rendah berbentuk

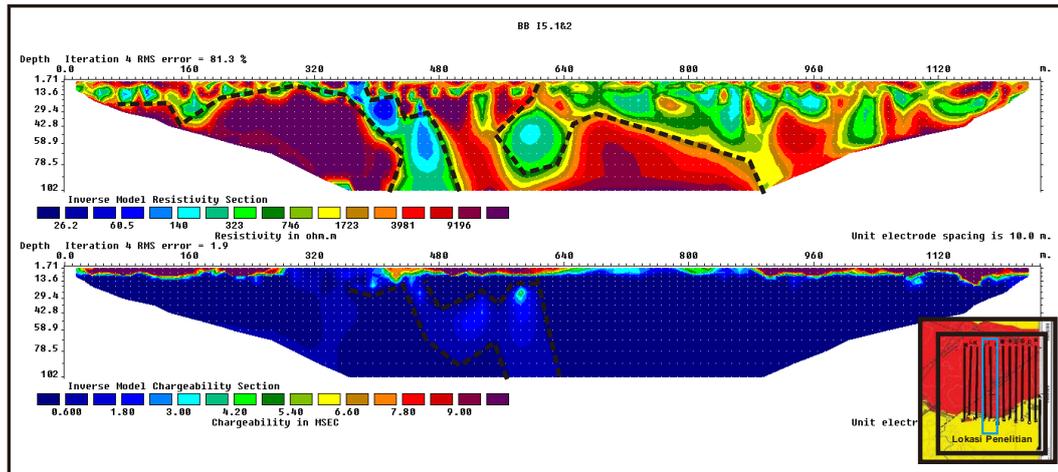
pola memotong suatu batuan granit yang berespon nilai resistivitas tinggi.



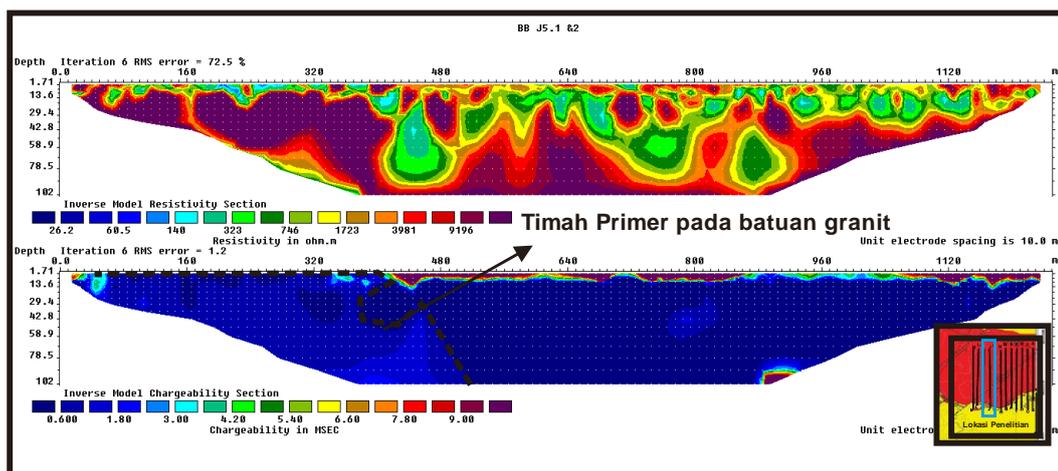
Gambar A.7. Penampang IP Lintasan BB G5. Pada titik arsiran memperlihatkan nilai chargeabilitas sedang hingga tinggi yang menyebar seperti spot-spot. Nilai resistivitasnya sedang hingga rendah di interpretasikan sebagai batuan granit yang tidak mengalami kejadian geologi seperti sesar.



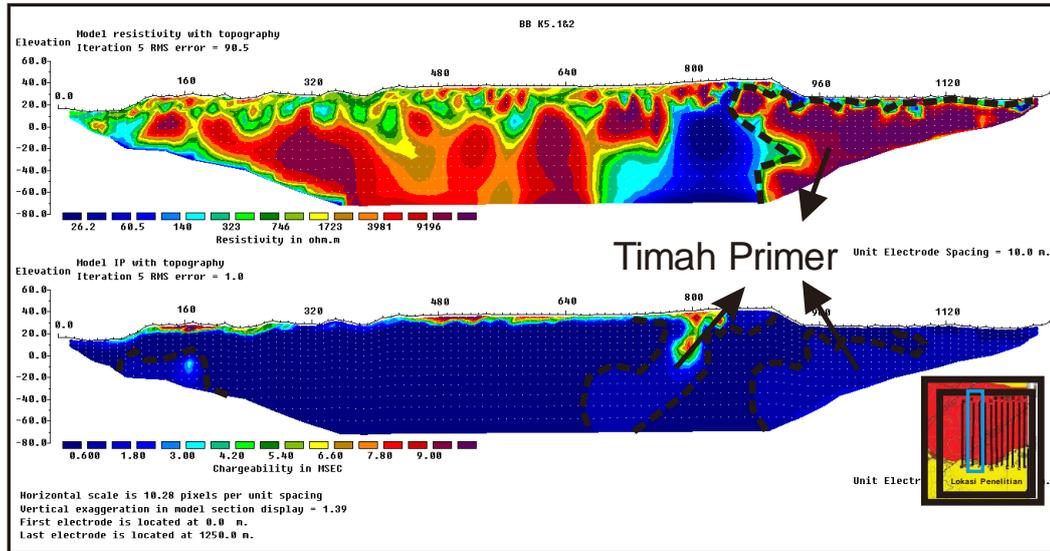
Gambar A.8. Penampang IP Lintasan BB H5. Respon kombinasi pada tanda yang sudah diarsis memperlihatkan nilai chargeabilitas sedang dan resistivitas yang sedang hingga rendah. Di interpretasikan sebagai suatu mineralisasi timah primer pada suatu batuan beku (granit) yang tersesarkan.



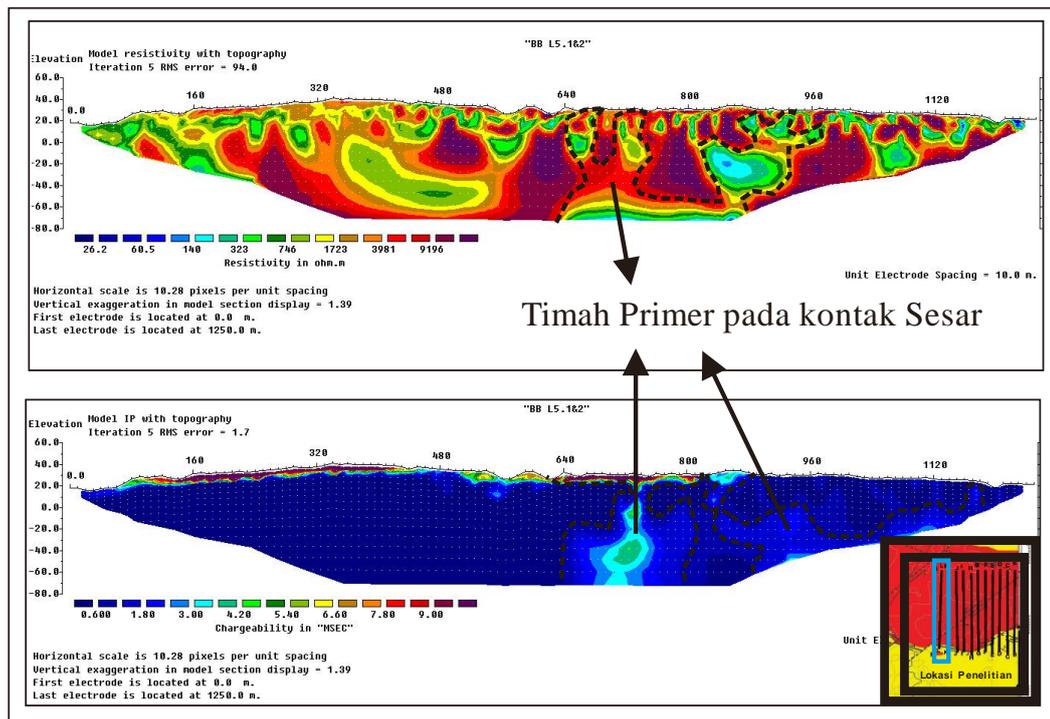
Gambar A.9. Penampang IP Lintasan BB I5. Pada tanda yang disir memperlihatkan respon nilai resistivitas tinggi dan nilai chargeabilitas sedang. Pada lokasi tersebut diinterpretasikan sebagai zona mineralisasi pada suatu batuan beku (granit).



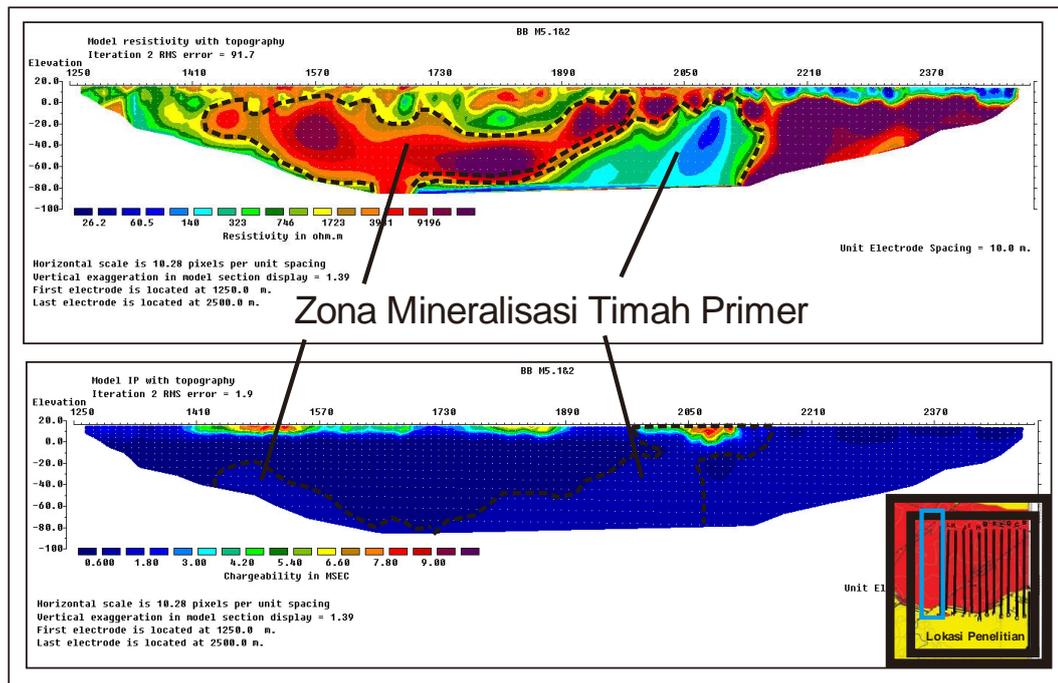
Gambar A.10. Penampang IP Lintasan BB J5. Pada lokasi yang diarsir pada anak panah, menunjukkan nilai resistivitas yang tinggi yang diinterpretasikan sebagai suatu batuan beku (granit). Sedangkan pada nilai chargeabilitas sedang diinterpretasikan sebagai suatu endapan mineralisasi timah. Endapan timah primer terletak pada suatu batuan beku (granit).



Gambar A.11. Penampang IP Lintasan BB K5. Bagian yang diarsir menunjukkan pola patahan (sesar) pada suatu batuan beku yang ditandai dengan nilai resistivitas yang rendah. Respon nilai chargeabilitas memperlihatkan adanya mineralisasi yang mengendap pada daerah yang diarsir tersebut.



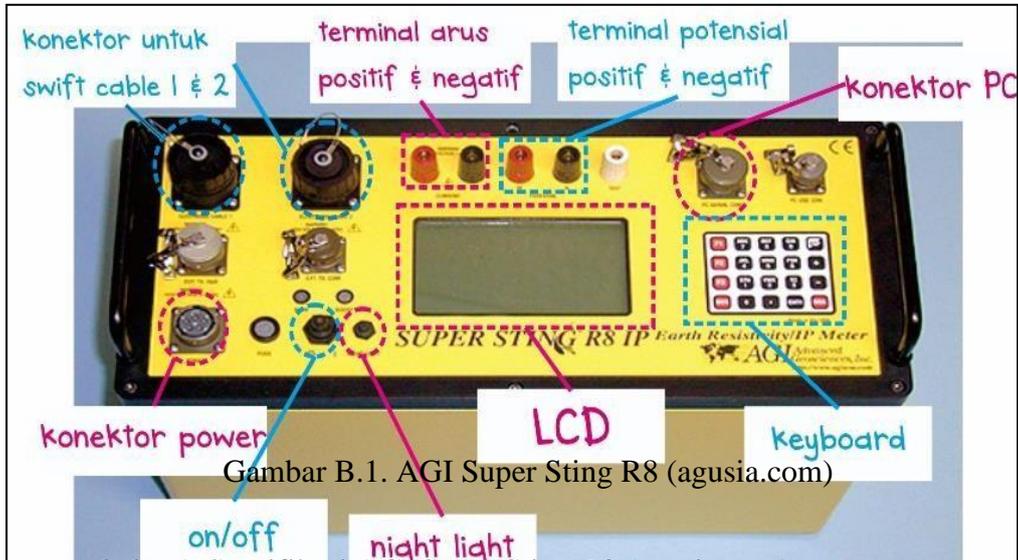
Gambar A.12. Penampang IP Lintasan BB L5, (yang diarsir) menunjukkan nilai resistivitas yang relatif sedang hingga mendekati rendah dan memiliki nilai chargeabilitas yang tinggi. Di interpretasikan sebagai zona mineralisasi timah primer yang berada pada suatu batuan beku yang di pengaruhi struktur geologi (sesar).



Gambar A.13. Penampang IP Lintasan BB M5, menunjukkan adanya nilai resistivitas tinggi dengan disertai nilai chargeabilitas sedang hingga tinggi. Daerah yang diarsir di interpretasikan sebagai zona mineralisasi timah primer.

LAMPIRAN B

SPESIFIKASI ALAT PENGUKURAN



Tabel B.1. Spesifikasi AGI Super Sting R8 (agusia.com)

Rentang perhitungan	+/- 10V
Resolusi perhitungan	Maks 30nV, tergantung pada level voltase
Resolusi layar	4 digit dalam notasi teknik
Keluaran intensitas arus	1mA – 2000mA berkelanjutan, dihitung hingga akurasi tinggi
Keluaran Voltase	800 Vp-p, voltase elektrode sebenarnya tergantung arus tertransmisi dan resistivitas tanah
Input Impedansi	200W
Kompensasi SP	8 channel

Input Impedansi	Otomatis, selalu menggunakan rentang dinamik penuh dari receiver
Input Impedansi	>150 MOhm
Transmisi arus IP	ON+, OFF, ON-, OFF
Siklus IP	0.5, 1, 2, 4, dan 8 s
Pengurangan noise	Lebih dari 100dB pada $f > 20\text{Hz}$
Pengurangan noise jaringan listrik	Lebih dari 120dB pada jaringan listrik dengan frekuensi (16 2/3, 20, 50 & 60 Hz) untuk pengukuran siklus 1.2 s atau lebih besar
Pengukuran Manual	Instrumen memiliki 4 <i>banana pole screws</i> untuk menghubungkan elektrode arus dan potensial selama pengukuran resistiviti manual
Kontrol user	20 tombol, <i>keyboard</i> tahan segala cuaca dengan tombol numerik dan fungsi Tombol <i>on/off</i> Tombol pengukur, terhubung dengan <i>keyboard</i> utama LCD dengan lampu malam
Temperatur pengoperasian	-5 sampai +50°C
Berat	10.2 kg (22.5 lb) instrumen saja
Dimensi	lebar 184 mm (7.25"), panjang 406 mm (16") dan tinggi 273 mm (10.75")
Kapasitas Memori	Memori dapat menyimpan lebih dari 79.000 pengukuran (<i>resisistivity mode</i>) dan lebih dari 26.000 pengukuran apabila dikombinasikan resistivity/IP mode
Siklus resistivitas	Waktu perhitungan dasar 0.2, 0.4, 0.8, 1.2, 3.6, 7.2, atau 14.4 s sesuai yang dipilih oleh pengguna melalui <i>keyboard</i> . Rentang otomatis dan penambahan komutasi sekitar 1.4s
Display	LCD display (16 baris x 30 karakter) dengan lampu malam

<i>Power supply</i> (lapangan)	12V or 2x12V DC <i>external power</i> (satu atau dua 12V batere), konektor pada panel depan. Hasil daya maksimum meningkat menggunakan sumber 2x12V
-----------------------------------	--

LAMPIRAN C

PENURUNAN RUMUS RESISTIVITAS

Hukum fisika dasar pada survei resistivitas adalah hukum ohm yang menentukan aliran arus listrik dipermukaan bumi. Persamaan untuk hukum ohm dalam bentuk vektor untuk aliran arus dalam medium yang kontinu adalah sebagai berikut (Loke, 2004) :

$$\vec{J} = \sigma \cdot \vec{E} \quad (3.1)$$

$$\frac{I}{A} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{V}{r} \quad (3.2)$$

$$V = I \cdot \frac{\rho r}{A} \quad (3.3)$$

$$V = I \cdot \frac{\rho r}{2\pi r^2} \quad (3.4)$$

$$V = \frac{I\rho}{2\pi r} \quad (3.5)$$

$$V = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r}\right) \quad (3.6)$$

$$V = I \cdot R \quad (3.7)$$

$$R = \frac{V}{I} \quad (3.8)$$

dimana \vec{J} adalah rapat arus listrik, σ adalah konduktivitas medium, dan \vec{E} adalah intensitas medan listrik.

Potensial Listrik dalam Medium Homogen

Berdasarkan persamaan dari potensial listrik dan hukum Ohm, maka potensial listrik didapatkan sebagai berikut.

$$\vec{E} = -\nabla V \quad (3.9)$$

$$\vec{J} = \sigma \cdot \vec{E} \quad (3.10)$$

maka,

$$\vec{J} = \sigma \cdot \vec{E} \quad (3.11)$$

$$\vec{J} = \sigma \cdot (-\nabla V) \quad (3.12)$$

$$\vec{j} = -\sigma \cdot \nabla V \quad (3.13)$$

Berdasarkan persamaan kontinuitas dan tidak adanya sumber arus listrik dalam kasus ini maka didapatkan bahwa :

$$\nabla \vec{j} = \frac{\partial p}{\partial t} \quad (3.14)$$

$$\nabla \vec{j} = 0 \quad (3.15)$$

substitusi rapat arus listrik (J) :

$$\nabla (-\sigma \cdot \nabla V) = 0 \quad (3.16)$$

Mengingat teorema vektor berikut :

$$\nabla(\phi A) = \nabla\phi A + \phi \nabla A \quad (3.17)$$

maka,

$$\nabla (-\sigma \cdot \nabla V) = 0 \quad (3.18)$$

$$-\nabla\sigma \nabla V - \sigma \nabla\nabla V = 0 \quad (3.19)$$

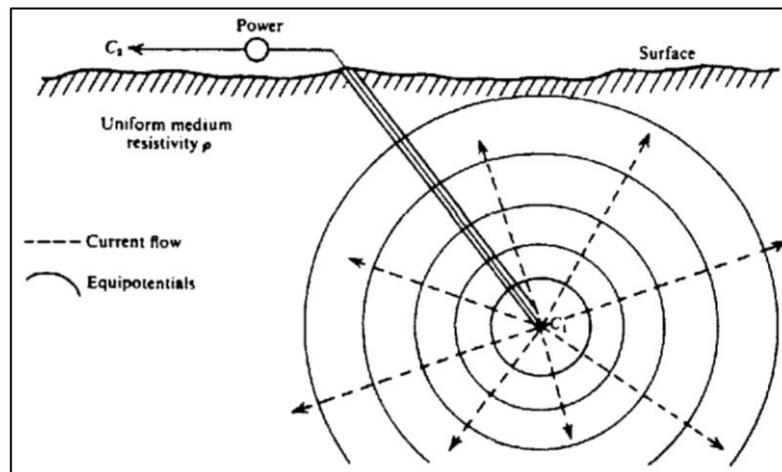
Karena konduktivitas (σ) pada medium homogen bernilai konstan, maka $\nabla\sigma = 0$.

Persamaan dapat dituliskan sebagai berikut :

$$-\sigma \nabla\nabla V = 0 \quad (3.20)$$

$$\nabla^2 V = \frac{0}{-\sigma} \quad (3.21)$$

$$\nabla^2 V = 0 \quad (3.22)$$



Gambar Lampiran C.1. Aliran arus listrik pada medium homogen (Telford,1990)

Terdapat 4 hal penting yang perlu diingat dalam kasus sumber arus tunggal pada medium homogen (Grandis,2008) :

- Aliran arus bergerak secara radial dan homogen
- Potensial berbanding lurus dengan arus
- Potensial berbanding terbalik dengan jarak dari sumber arus
- Permukaan ekuipotensial sebanding dengan bola konsentris.

Berdasarkan pernyataan keempat di atas, maka perlu diketahui persamaan Lapalacian untuk koordinat bola :

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \left(\frac{\partial^2}{\partial \phi^2} \right) \quad (3.23)$$

Karena listrik bergerak secara statis, maka sudut (θ) dan psi (ϕ) tidak diperhitungkan juga karena hanya satu komponen yang ditinjau, maka persamaan dituliskan menjadi berikut ini :

$$\nabla V^2 = \frac{dV^2}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{dV}{dr} \quad (3.24)$$

Persamaan di atas dapat juga dituliskan sebagai :

$$\nabla V^2 = \frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{dV}{dr} \right) \quad (3.25)$$

Hal tersebut dibuktikan dengan,

$$\nabla V^2 = \frac{1}{r^2} \left(\frac{d(r^2)}{dr} \frac{dV}{dr} + r^2 \frac{d^2V}{dr^2} \right) \quad (3.26)$$

$$\nabla V^2 = \frac{2r}{r^2} \frac{dV}{dr} + \frac{2}{r} \frac{dV}{dr} \quad (3.27)$$

$$\nabla V^2 = \frac{2}{r} \frac{dV}{dr} + \frac{dV^2}{dr^2} \quad (3.28)$$

Berdasarkan **persamaan 3.22** :

$$\nabla^2 V = 0 \quad (3.29)$$

maka,

$$\frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{dV}{dr} \right) = 0 \quad (3.30)$$

$$\frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{dV}{dr} \right) = 0 \quad (3.31)$$

Diintegalkan kedua ruas :

$$\int \frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{dV}{dr} \right) = \int 0 \quad (3.32)$$

$$r^2 \frac{dV}{dr} = C \quad (3.33)$$

$$\frac{dV}{dr} = \frac{C}{r^2} \quad (3.34)$$

Diintegrasikan kembali kedua ruas :

$$\int \frac{dV}{dr} = \int \frac{C}{r^2} \quad (3.35)$$

$$V = -\frac{C}{r} + D \quad (3.36)$$

Untuk mengetahui nilai dari konstanta D, maka dimasukkan syarat batas berikut pada persamaan potensial listrik berikut :

$$V = k \frac{q}{r} \quad (3.37)$$

Jika syarat batas r diibaratkan mencapai tak hingga (∞), maka nilai $V = 0$

Sehingga,

$$0 = -\frac{C}{\infty} + D \quad (3.38)$$

$$0 = 0 + D \quad (3.39)$$

$$D = 0 \quad (3.40)$$

Untuk mendapatkan potensial listrik dalam luasan medium, maka ditinjau persamaan rapat arus berikut :

$$\vec{J} = \frac{I}{A} \quad (3.41)$$

Dari **persamaan 3.13** diketahui bahwa :

$$\vec{J} = -\sigma \cdot \nabla V \quad (3.42)$$

Substitusi kedua persamaan :

$$-\sigma \cdot \nabla V = \frac{I}{A} \quad (3.43)$$

Karena medium yang ditinjau adalah bola, maka luas permukaan mengacu pada rumus luas permukaan bola.

$$-\sigma \cdot \nabla V = \frac{I}{4\pi r^2} \quad (3.44)$$

$$-\sigma \cdot \nabla V 4\pi r^2 = I \quad (3.45)$$

$$I = -\sigma 4\pi r^2 \frac{dV}{dr} \quad (3.46)$$

$$I = -\sigma 4\pi r^2 \frac{C}{r^2} \quad (3.47)$$

$$C = -\frac{I}{\sigma 4\pi} \quad (3.48)$$

$$C = -\frac{I\rho}{4\pi} \quad (3.49)$$

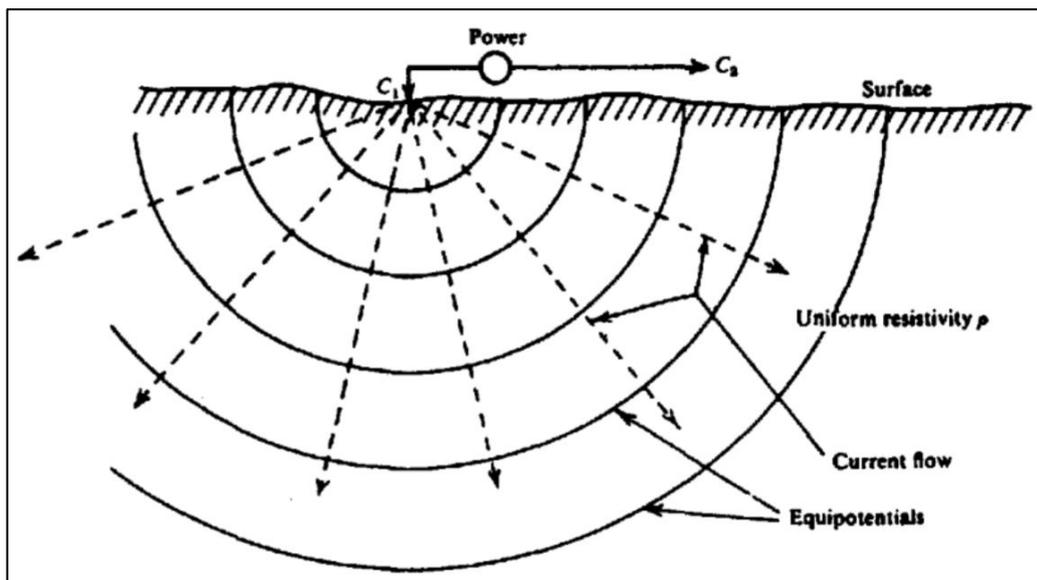
Substitusikan ke persamaan 3.36 :

$$V = -\frac{C}{r} + 0 \quad (3.50)$$

$$V = -\frac{-\frac{I\rho}{4\pi}}{r} \quad (3.51)$$

$$V = -\frac{I\rho}{4\pi} \left(-\frac{1}{r}\right) \quad (3.52)$$

$$V = \frac{I\rho}{4\pi} \left(\frac{1}{r}\right) \quad (3.53)$$



Gambar Lampiran C.2. Aliran arus listrik pada medium homogen $\frac{1}{2}$ ruang
(Telford,1990)

Potensial Listrik Arus Ganda

Konfigurasi elektroda yang saat ini umum digunakan adalah memanfaatkan dua buah elektroda arus di permukaan, seperti konfigurasi *wenner*, *wenner-schlumberger*, *dipole-dipole*, dan lain sebagainya. Dua buah elektroda arus dengan

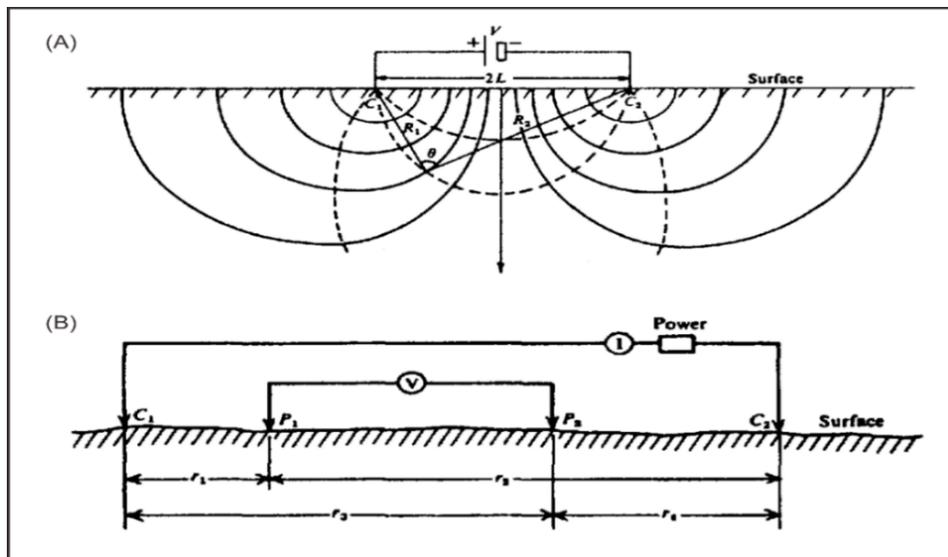
jarak yang terhingga menyebabkan garis arus listrik dan permukaan ekuipotensial menjadi terdistorsi sebagaimana yang terlihat pada gambar 3.3 (A).

$$\Delta V = Vp_1 - Vp_2 = (V_1 + V_2) - (V_3 + V_4) \quad (3.54)$$

$$Vp_1 = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (3.55)$$

$$Vp_2 = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right) \quad (3.56)$$

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right) \quad (3.57)$$

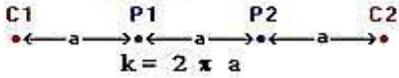
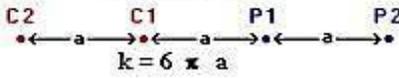
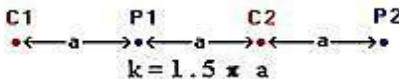
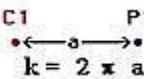
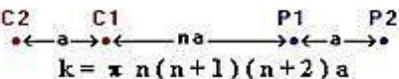
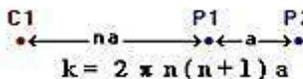
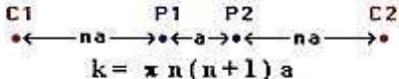
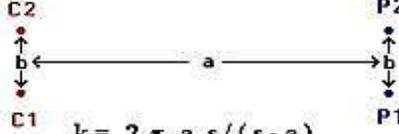


Gambar Lampiran C.3. (A) Permukaan ekuipotensial dan arah perambatan arus mengalami distorsi akibat jarak antar elektroda arus yang cukup dekat. (B) Skema pengukuran dengan dua elektroda potensial P diantara elektroda C (Telford, 1990).

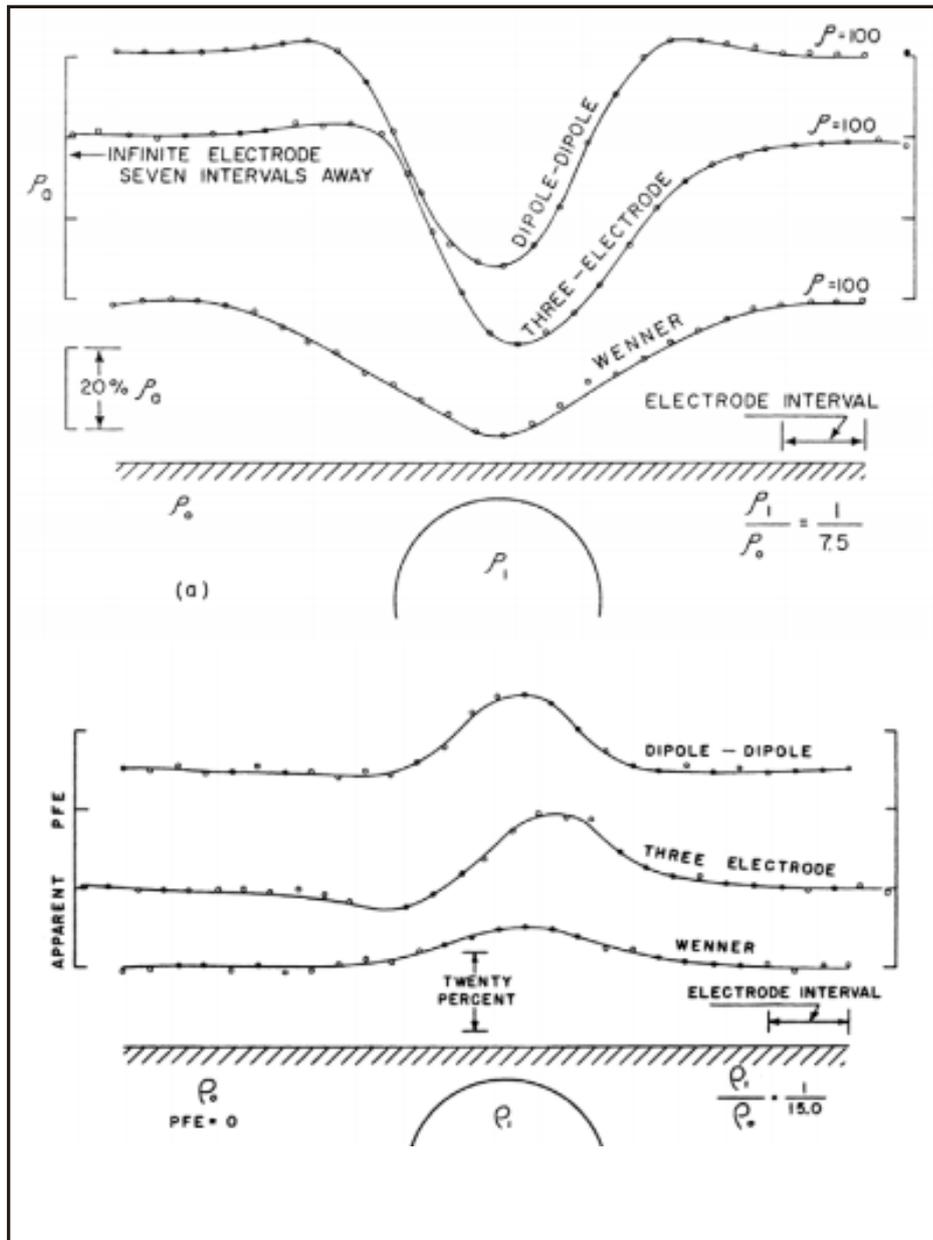
LAMPIRAN D

KONFIGURASI DIPOLE-DIPOLE

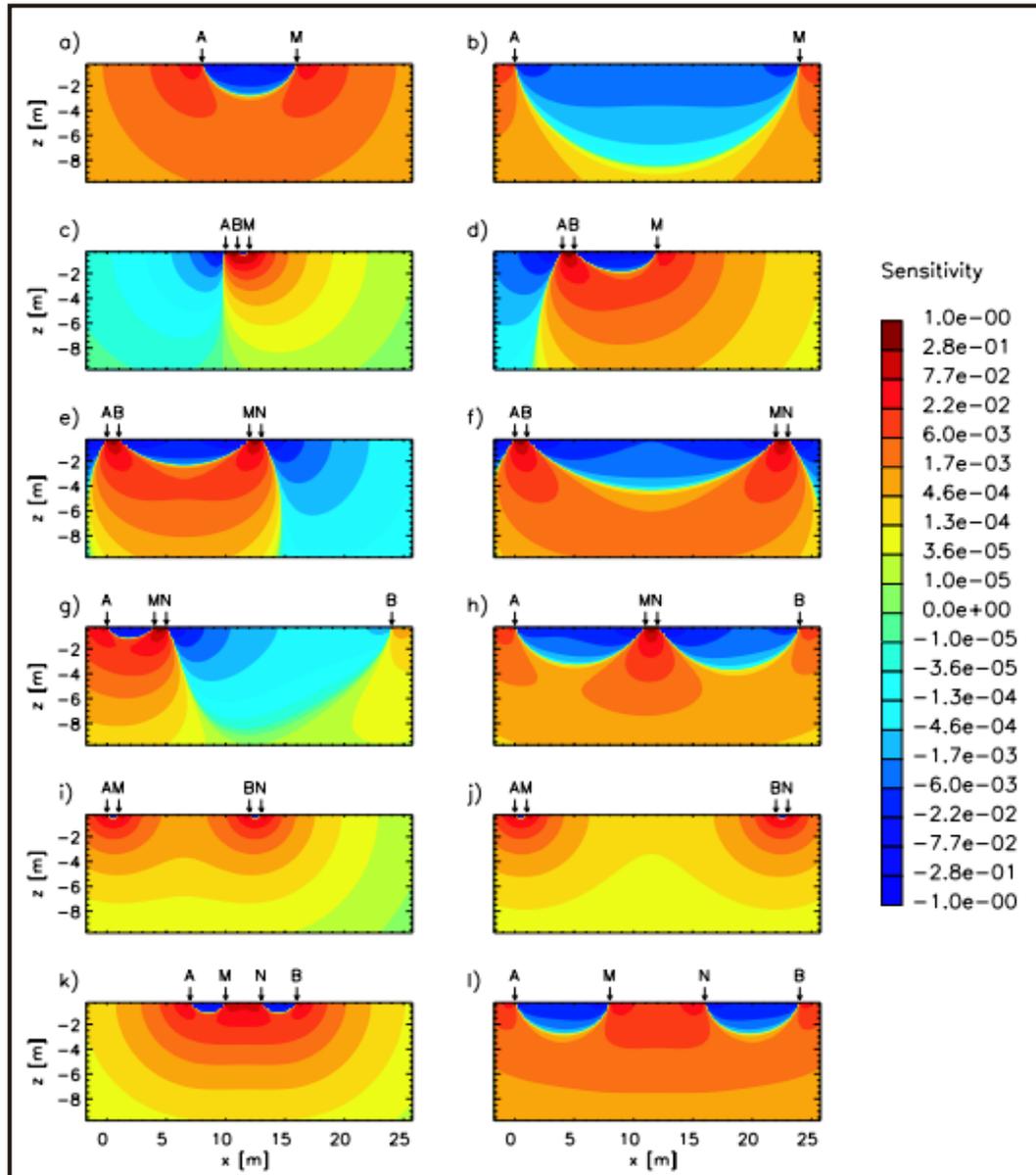
Tabel Lampiran D.1 Konfigurasi elektroda metode geolistrik resistivitas (Loke, 2004, dalam Eka Yuliana, 2017)

<p>Wenner</p>  <p>$k = 2 \pi a$</p>	<p>Wenner Beta</p>  <p>$k = 6 \pi a$</p>
<p>Wenner Gamma</p>  <p>$k = 1.5 \pi a$</p>	<p>Pole - Pole</p>  <p>$k = 2 \pi a$</p>
<p>Dipole - Dipole</p>  <p>$k = \pi n(n+1)(n+2)a$</p>	<p>Pole - Dipole</p>  <p>$k = 2 \pi n(n+1)a$</p>
<p>Schlumberger</p>  <p>$k = \pi n(n+1)a$</p>	<p>Equatorial Dipole - Dipole</p>  <p>$k = 2 \pi a s / (s - a)$ $s = (a^2 + b^2)^{0.5}$</p>
<p>NOTES: k = geometric factor C = current source electrodes P = potential (measuring) electrode a = electrode separation; n = an integer</p>	

Konfigurasi dipole - dipole secara logistik peralatannya paling nyaman di lapangan, terutama untuk jarak yang lebar. Semua susunan konfigurasi lainnya memerlukan panjang kabel yang signifikan untuk menghubungkan satu daya dan voltmeter ke elektroda masing-masing dan kabel harus dipindahkan untuk setiap perubahan jarak, karena antara diperluas untuk kedalaman atau dipindahkan sepanjang bentangan. Konvensi untuk susunan dipol-dipol yang ditunjukkan adalah jarak arus dan tegangan adalah sama, a , dan jarak antara keduanya adalah kelipatan bilangan bulat dari a (n).



Gambar Lampiran D.1. Pengaruh Resolusi Setiap Konfigurasi, Resistivitas (a), Induksi Polarisasi (b) (John S. Sumner, 1972).



Gambar Lampiran D.2. Contoh Distribusi Sensivitas 2D dari Setengah Ruang Homogen untuk Konfigurasi yang berdeea-beda: (a,b) Pole-pole; (c,d) Pole-Dipole; (e,f) Dipole-dipole ABMN; (g) Schlumberger Asimetris; (h) Schlumberger Sistematis; (i,j) Dipole-dipole AMBN; (k,l) Wenner (Friedel, 2000, Dimodifikasi Oleh Peter Stummer, 2003)

Tabel D.2. Perbandingan Konfigurasi Elektroda pada Survey IP (John S. Sumner, 1972).

	Advantages	Disadvantages	Survey Speed	Signal-to-noise	EM Coupling Rejection
<u>Potential Field Arrays</u>					
Wenner	Anomalies symmetrical Synchronous detector possible. Many case histories available.	Requires more wire; larger field crew. Poor resolution. Unfavorable in capacitive coupling situations.	FAIR	GOOD	FAIR
Schlumberger	Symmetrical array. Synchronous detection possible. Fewer men required. Works well in layered earth. Type curves available.	Less horizontal resolution. Unsuitable for horizontal profiling. Capacitive coupling possible.	FAIR	FAIR	FAIR
Gradient	Map interpretation easier. Less masking by conductive over-burden. Penetration good; safer. Communications easier. Can use two or more receivers. Less topographic effect. Data easily contoured in plan. Useful where difficult to make good current contacts.	Poor resolution with depth. Poor in low resistivity areas except surface. Geometric factor varies complexly.	GOOD	FAIR	POOR
<u>Potential>About-A-Point</u>					
Three array	Good reconnaissance array. Fairly good resolution.	Asymmetrical. More wire needed.	FAIR	GOOD	GOOD
Pole-dipole, collinear	Good resolution. Good subsurface coverage.	Asymmetrical.	FAIR	FAIR	FAIR
Perpendicular three array pole-dipole pole-pole	Virtually eliminates EM coupling.	Asymmetrical. More wire needed.	FAIR to POOR	FAIR	VERY GOOD
Pole-pole (Two array)	Smaller crew needed. Less wire needed than for some arrays. Good penetration in non-conductive over-burden.	Susceptible to masking by conductive over-burden. Sometimes needs more wire.	GOOD	FAIR	POOR
PDR (Potential drop ratio)	Sensitive to lateral variations. "Common mode" noise rejection.	Complex interpretation. Edge effects.	FAIR	GOOD	FAIR
<u>Dipole Field Array</u>					
Pole-dipole collinear	Symmetrical, good resolution. Good penetration. Less survey wire needed.	Slow unless equipment is portable. Resistivity topographic effects. Interpretation somewhat involved.	FAIR	POOR	FAIR
Dipole-dipole parallel	Special use for EM coupling interpretation.	Not used for routine surveying.	POOR	POOR	FAIR
<u>Down-Hole Arrays</u>					
Azimuthal array (one potential electrode down the hole)	Fair for exploration purposes. Useful in finding the best search direction.	Interpretation complex. Negative anomalies. Strong geometric effects. Mainly measures changes in resistivity.	FAIR	GOOD	GOOD
Radial Array (one current electrode down the hole, mise a la masse)	Good for exploration purposes. Useful in finding the best search direction. Hole need not stay open.	Interpretation complex. Negative anomalies. Not good for obtaining rock properties.	FAIR	GOOD	GOOD
<u>In-Hole Arrays</u> (more than one electrode in the hole)	Good for obtaining rock properties. Good for assaying. Interpretation simple.	Current densities may be too large. Possible capacitive coupling problems. Not designed for exploration. Special equipment, expensive.	GOOD	FAIR	GOOD

Konfigurasi Dipole-dipole digunakan khusus untuk interpretasi kopling EM. Memiliki resolusi bawah permukaan yang lebih baik, seperti yang diilustrasikan pada Gambar Lampiran D.1. Pada susunan elektroda konfigurasi dipole-dipole menunjukkan kelebihan. Dan dari masing-masing konfigurasi lain digunakan pada kondisi survei lapangan yang berbeda. Diketahui pada Tabel D.2. menggunakan kriteria diuraikan tabel kekurangan dan kelebihan dari masing-masing konfigurasi. Dapat dikatakan bahwa tidak ada konfigurasi yang dapat menggabungkan semuanya, karena faktor survei IP. Namun ada beberapa konfigurasi yang lebih efektif untuk tujuan tertentu daripada konfigurasi yang lain.