

**INTEGRASI PENAMPANG 2D DAN MODEL 3D METODE
RESISTIVITY DAN *INDUCED POLARIZATION* UNTUK
PEMETAAN ZONA MINERALISASI EMAS LAPANGAN
'ARJUNA', PT PUNCAKBARU JAYATAMA**

(Skripsi)

Oleh
M. Farhan Al Rasyid
2115051046



**JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG**

2026

ABSTRAK

INTEGRASI PENAMPANG 2D DAN MODEL 3D METODE *RESISTIVITY* DAN *INDUCED POLARIZATION* UNTUK PEMETAAN ZONA MINERALISASI EMAS LAPANGAN 'ARJUNA', PT PUNCAKBARU JAYATAMA

Oleh

M. Farhan Al Rasyid

Indonesia merupakan salah satu wilayah dengan keragaman geologi yang sangat kompleks karena terdapat pertemuan tiga lempeng utama dunia. Interaksi tektonik ini menyebabkan terbentuknya busur magmatik aktif, cekungan sedimen, dan zona subduksi. Aktivitas magmatis dan tektonik yang intens menyebabkan kondisi ideal bagi pembentukan sistem hidrotermal dan mineralisasi logam berharga, terutama emas. Salah satunya adalah Lapangan "Arjuna" yang termasuk dalam wilayah kerja PT Puncakbaru Jayatama, Halmahera yang menjadi daerah penelitian pada penelitian ini. Indikasi keberadaan zona alterasi permukaan telah menjadi dasar awal dalam penentuan target eksplorasi. Untuk mendukung pemetaan yang lebih mendalam terhadap struktur bawah permukaan zona mineralisasi emas, eksplorasi geofisika menjadi salah satu langkah penting. Beberapa metode yang cocok digunakan dalam eksplorasi zona mineralisasi emas adalah metode *Resistivity* dan metode *Induced Polarization*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui zona mineralisasi emas pada sistem endapan *low sulphidation epithermal*. Data yang digunakan terdiri dari tujuh lintasan *Resistivity* dan tujuh lintasan *Induced Polarization*, yang kemudian dilakukan inversi 2D dengan menggunakan *Zonge TS2DIP* dan dilakukan permodelan 3D dengan *Oasis Montaj*. *Resistivity* digunakan untuk melihat struktur *mayor* yang menjadi jalur fluida yang memiliki nilai *Resistivity* rendah ($<60 \Omega m$). Kemudian, nilai *Chargeability* tinggi ($>7 mV/V$) digunakan untuk melihat disemenasi mineral sulfida yang menandakan adanya zona mineralisasi. Integrasi antara dua metode mendapatkan interpretasi yang lebih konkrit dan lebih terstruktur. Model 3D sendiri digunakan untuk melihat kemenerusan yang pada penelitian ini didapatkan beberapa kemenerusan.

Kata Kunci: *Resistivity*, *Chargeability*, *low sulphidate epithermal*, zona mineralisasi emas

ABSTRACT

INTEGRATION OF 2D SECTIONS AND 3D MODELS OF RESISTIVITY AND INDUCED POLARIZATION METHODS FOR MAPPING GOLD MINERALIZATION ZONES IN THE ‘ARJUNA’ PROSPECT, PT PUNCAKBARU JAYATAMA

By

M. Farhan Al Rasyid

Indonesia is one of the regions with highly complex geological diversity due to the convergence of three major tectonic plates. This tectonic interaction has resulted in the formation of active magmatic arcs, sedimentary basins, and subduction zones. Intense magmatic and tectonic activities create ideal conditions for the development of hydrothermal systems and the mineralization of valuable metals, particularly gold. One example is the “Arjuna” Prospect, which is located within the working area of PT Puncakbaru Jayatama, Halmahera, and serves as the study area of this research. Indications of surface alteration zones have provided the initial basis for determining exploration targets. To support more detailed mapping of subsurface structures associated with gold mineralization zones, geophysical exploration is considered an essential step. Several suitable methods for exploring gold mineralization zones include the Resistivity and Induced Polarization (IP) methods. This study aims to identify gold mineralization zones within a low sulphidation epithermal deposit system. The dataset consists of seven Resistivity lines and seven Induced Polarization lines, which were processed through 2D inversion using Zonge TS2DIP and subsequently modeled in 3D using Oasis Montaj. Resistivity data were utilized to delineate major structures that act as fluid pathways, characterized by low resistivity values ($<60 \Omega\text{m}$), while high chargeability values ($>7 \text{ mV/V}$) were used to identify disseminated sulfide minerals indicating potential mineralization zones. The integration of these two methods provides a more robust and systematic interpretation, and the 3D model was employed to evaluate spatial continuity, through which several continuous zones were identified in this study.

Keyword: Resistivity, Chargeability, low sulphidate epithermal, gold mineralization zone

Judul Skripsi

Integrasi Penampang 2D Dan Model 3D

Metode *Resistivity* dan *Induced Polarization*

Untuk Pemetaan Zona Mineralisasi Emas

Lapangan 'Arjuna', PT Puncakbaru

Jayatama

Nama Mahasiswa

M. Farhan Al Rasyid

Nomor Pokok Mahasiswa

2115051046

Program Studi

Teknik Geofisika

Fakultas

Teknik

MENYETUJUI

1. **Komisi Pembimbing**

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Prof. Dr. Ir. Ahmad Zaenudin S. Si.,

Ir. Akromah H., S.T., M.Eng.

M.T., CRP.

NIP. 199008052019032014

NIP. 197209281999031001

2. **Ketua Jurusan Teknik Geofisika**

Dr. Ir. Syamsurrijal Rasimeng, S.Si., M.Si., CEIA, IPM.

NIP. 197307162000121002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Prof. Dr. Ir. Ahmad Zaenudin S. Si., M.T., CRP.**.....

Sekretaris : **Ir. Akromah H., S.T., M.Eng.**.....

Anggota : **Prof. Dr. Ir. Nandi Haerudin, S.Si., M.Si., IPM.**

2. Dekan Fakultas Teknik

Dr. Ahmad Herison, S.T., M.T.

NIP. 196910302000031001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 29 Januari 2026

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Integrasi Penampang 2D Dan Model 3d Metode *Resistivity* Dan *Induced Polarization* Untuk Pemetaan Zona Mineralisasi Emas Lapangan 'Arjuna', PT Puncakbaru Jayatama” tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis maupun diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dirujuk dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Adapun penulisan dalam skripsi ini telah sesuai norma, kaidah, dan etika penulisan.

Apabila pernyataan saya ini terbukti tidak benar, maka saya bersedia untuk dikenakan sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 27 Januari 2026



M. Farhan Al Rasvid
NPM. 2115051046

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap M. Farhan Al Rasyid, lahir di Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung pada 3 Oktober 2003. Penulis merupakan anak terakhir dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Hatono dan Ibu Kulsum. Penulis menyelesaikan pendidikan formal di Taman Kanak-Kanak Aisyiah Gisting pada tahun 2009, Sekolah Dasar di SD Muhammadiyah Gisting pada tahun 2015, SMP Muhammadiyah 1 Gisting pada tahun 2018, dan SMA Negeri 1 Pringsewu pada tahun 2021. Penulis melanjutkan pendidikan ke Perguruan Tinggi Negeri yaitu Universitas Lampung pada Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama menempuh pendidikan di perguruan tinggi, penulis aktif dalam berbagai kegiatan baik di bidang akademik maupun non akademik. Penulis aktif diberbagai organisasi internal dan eksternal kampus, yaitu menjadi Staff Ahli Badan Eksekutif Mahasiswa-Fakultas Teknik (BEM-FT) pada tahun 2023, sebagai Ketua Divisi Bidang Multimedia Informasi dalam Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika Bhuwana (Hima TG Bhuwana) pada tahun 2023 – 2024, Anggota Media Kreatif dan Informasi Himpunan Mahasiswa Geofisika Indonesia (HMGI) Pusat pada 2024 – 2025, Ketua Divisi Internal Himpunan Ahli Geofisika Indonesia *Student Chapter* (HAGI SC) Universitas Lampung pada tahun 2024 dan kemudian menjadi Anggota Divisi Internal pada tahun 2025, Anggota Divisi *Publication and Documentation Society of Exploration Geophysicists Student Chapter* (SEG SC) Universitas Lampung pada tahun 2024 dan kemudian menjadi Ketua Divisi *Publication and*

Documentation Society of Exploration Geophysicists Student Chapter (SEG SC) Universitas Lampung pada tahun 2025.

Selain itu, Penulis juga tergabung dalam tim Program Kreativitas Mahasiswa Riset Eksata (PKM-RE) dengan judul “Integrasi Model *Global Geospatial Liquefaction Model*, Geolistrik Resistivitas dan *Direct Shear Test* Pada Daerah Pesisir terdampak Tsunami, Kalianda, Lampung Selatan” pada Juli - November 2023. Penulis juga terlibat dan berkontribusi dalam publikasi karya ilmiah, dengan judul “**Studi Pendahuluan Potensi Likuefaksi Menggunakan Pendekatan Geologi, Hidrogeologi, Dan Data Vs30 Pada Kecamatan Kalianda, Lampung Selatan**” pada *Journal Online of Physics Faculty of Science and Technology*-Universitas Jambi, Vol.8 No.3, Agustus 2023: 70 - 74, Selanjutnya, penulis mendapatkan kesempatan berkontribusi dalam sertifikasi Hak Kekayaan Intelektual (HKI) dengan judul ciptaan “**Probabilitas (P) Likuefaksi Daerah Pesisir, Kecamatan Kalianda Lampung Selatan**” dengan nomor pencatatan 000526664 ditetapkan pada tanggal 13 Oktober 2023 di Bandar Lampung.

Penulis melaksanakan kegiatan Kerja Praktik (KP) pada bulan Oktober-November 2024 di Pusat Survei Geologi (PSG), Bandung dengan judul “**Identifikasi Struktur Patahan Berdasarkan Pengolahan Data Gayabarat Menggunakan Metode SVD Dan FHD Pada Daerah Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta**”. Selanjutnya, pada Mei-Juni 2025, penulis melanjutkan kegiatan Tugas Akhir di PT. Puncakbaru Jayatama, Jakarta Utara dengan judul “**Integrasi Penampang 2D Dan Model 3D Metode *Resistivity* dan *Induced Polarization* Untuk Pemetaan Zona Mineralisasi Emas Lapangan 'Arjuna', PT Puncakbaru Jayatama**”. Penulis berhasil menyelesaikan penelitian sebagai Tugas Akhir/Skripsi untuk memperoleh gelar sarjana Teknik dari jurusan Teknik Geofisika pada 27 Januari 2026.

PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim

Dengan penuh rasa syukur,

Persembahan ini saya ungkapkan sebagai bentuk rasa terima kasih yang tulus

Terima kasih ya Allah, Tuhan Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, atas berkat rahmat, kekuatan, dan petunjuk-Mu yang tiada henti mengiringi setiap langkah hingga akhirnya saya dapat menyelesaikan skripsi ini.

Dan karya ini saya persembahkan untuk

Bapak dan Ibu tercinta,

Ayah Hartono & Ibu Kulsum

Sebagai sumber kekuatan yang tak pernah lelah mendo'akan, mendukung, dan mencurahkan kasih sayang tanpa batas. serta pengorbanan yang tak akan pernah dapat terbalaskan oleh apapun di dunia ini. Terima kasih atas setiap belaian, nasihat, dan dukungan yang menjadi bahan bakar dalam menjalani proses yang sangat menantang ini.

Kakak-kakakku tersayang,

Abdurrahman Fakhri Ramadhan & Naila Fadhila Amini

Terima kasih karena telah menjadi sumber semangat, tawa, dan inspirasi di setiap langkah. Terima kasih telah menjadi energi bagi penulis untuk terus bertahan dan memberikan motivasi untuk terus berjuang. Semoga kita bersama dapat meraih kebahagiaan dan membuat orangtua kita bangga di dunia maupun di akhirat.

MOTTO

"Dan janganlah kamu merasa lemah dan janganlah pula bersedih hati, sebab kamulah yang paling tinggi derajatnya jika kamu orang-orang yang beriman."

(QS. Ali Imran: 139)

"Karena itu, ingatlah kamu kepada-Ku niscaya Aku ingat kepadamu, dan bersyukurlah kepada-Ku, dan janganlah kamu mengingkari-Ku."

(QS. Al-Baqarah: 152)

"...mohonlah pertolongan dengan sabar dan salat; sesungguhnya Allah beserta orang-orang yang sabar"

(QS. Al-Baqarah: 153)

"Sebutkanlah nama-Nya. Resapilah jalan-Nya. Kelak kau mengingat. Kau akan teringat"

-Perunggu, 33x

"Terus berenang. Lanjutlah mendaki"

-Perunggu, 33x

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, Puji dan syukur penulis haturkan terhadap Allah SWT, karena berkat Rahmat dan Hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini dengan maksimal dan sebaik-baiknya. Penulis menyadari bahwa sebagaimana manusia yang memiliki keterbatasan, sehingga hasil karya ini tidak luput dari kesalahan. Maka dari itu, penulis menantikan kritik dan saran yang membangun guna membantu memperbaiki kesalahan yang ada pada skripsi ini.

Skripsi dengan judul “**Integrasi Penampang 2D Dan Model 3D Metode Resistivity dan Induced Polarization Untuk Pemetaan Zona Mineralisasi Emas Lapangan 'Arjuna', PT Puncakbaru Jayatama**”, ini merupakan hasil tugas akhir sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Geofisika, Universitas Lampung.

Akhir kata, penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah terlibat secara langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca seta menjadi kontribusi yang bermakna dalam perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang geofisika. Selain itu, semoga karya ini dapat menjadi amal jariyah bagi penulis dan seluruh pihak yang berperan di dalamnya.

Bandar Lampung, 27 Januari 2026



M. Farhan Al Rasyid
NPM. 2115051046

SANWACANA

Segala puji dan syukur penulis haturkan kepada Allah SWT atas rahmat dan petunjuk-Nya sehingga skripsi berjudul “**Integrasi Penampang 2D Dan Model 3D Metode *Resistivity* dan *Induced Polarization* Untuk Pemetaan Zona Mineralisasi Emas Lapangan 'Arjuna', PT Puncakbaru Jayatama**”, ini dapat terselesaikan dengan baik, Proses penyusunan skripsi ini penuh dengan tantangan dan pengalaman yang berharga. Pada setiap proses yang dijalani, banyak pihak yang berkontribusi dalam memberikan dukungan dan semangat. Oleh karena itu, dengan rasa hormat, penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Ahmad Herison, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si., C.EIA., IPM., selaku Ketua Jurusan Teknik Geofisika, Universitas Lampung.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Ahmad Zaenudin S. Si., M.T., CRP., selaku dosen pembimbing pertama yang telah membimbing, selalu meluangkan waktu, memberi saran, dan koreksi, serta selalu memberi dukungan dalam pelaksanaan tugas akhir ini.
4. Bapak Ir. Akromah H., S.T., M.Eng., selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan dukungan, kritikan, dan masukan, serta bimbingan yang sangat membantu dalam pelaksanaan skripsi ini.
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Nandi Haerudin, S.Si., M.Si., IPM., selaku dosen penguji dalam skripsi ini yang telah memberikan saran, motivasi, semangat, serta evaluasi yang membangun dalam proses penyempurnaan skripsi ini lebih baik.

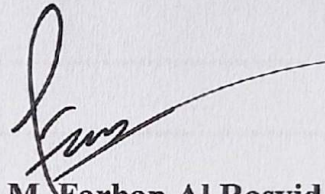
6. Bapak Ilham Dani, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing akademik yang senantiasa memberikan masukan dalam perkembangan studi penulis dan membantu dalam penentuan fokus konsentrasi di bidang Geofisika.
7. Bapak Noor Muhammad Indragiri, S.T. M.T., selaku pembimbing Kerja Praktik di Pusat Survei Geologi Bandung yang telah memberikan arahan, ilmu, serta bimbingan berharga selama kegiatan kerja praktik.
8. Bapak Ir. Yogi Ali Taufan S.Si., M.T., selaku pembimbing Tugas Akhir di PT, Puncakbaru Jayatama, Jakarta Utara, yang telah sabar membimbing serta membagikan banyak ilmu dan pengalaman berharga selama pelaksanaan Tugas Akhir. Terima kasih atas kesempatan untuk dapat merasakan atmosfer yang hangat di PT Puncakbaru Jayatama, untuk berdiskusi langsung dengan para praktisi yang baik dan ramah.
9. Seluruh dosen dan civitas akademika Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu yang telah membagikan ilmu, pengalaman, kepercayaan, canda tawa yang tulus, arahan, dan dukungan selama masa perkuliahan. Setiap proses yang dilalui menjadi pengalaman berharga dalam perjalanan akademik penulis yang tidak akan pernah penulis lupakan sepanjang hidup.
10. Keluarga Besar TG 21 “Breksi” yang telah memberikan kenangan serta pengalaman berharga yang tak terhitung jumlahnya selama masa perkuliahan. Terimakasih telah rumah yang telah membersamai penulis dalam suka, duka maupun tawa. Suatu kebanggaan yang sangat besar karena pernah menjadi bagian dari kalian. Semoga hal-hal baik dan indah yang pernah terjadi di angkatan ini bisa terulang dan bertahan hingga kita meninggalkan dunia. Panjang umur dan sehat selalu buat seluruh teman-teman.
11. Multimedia Informasi 2k21 yang telah menjadi rekan berproses selama menjalani himpunan. Terimakasih atas dedikasi, perjuangan, kerjasama, tenaga, waktu, dan pikiran yang diberikan untuk himpunan tanpa bayaran sepersen pun. Semoga segala hal tersebut menjadi amal jariyah dan bekal kita untuk kehidupan selanjutnya.

12. Tongkrongan 21 yang telah bersedia mendengarkan, membagi serta berdiskusi tentang keluh kesah dalam menghadapi seluruh permasalahan dalam kehidupan. Semangat selalu untuk kawan-kawan Tongkrongan 21. Semoga mimpi kalian dapat segera tercapai dan semoga kebahagiaan terus menyertai kalian. Penulis berharap, semoga hubungan baik ini terus berjalan hingga akhir hayat nanti.
13. Kontrakan 21 yaitu Pangal, Aziez, Farrell dan Fabian yang telah bersedia berbagi tempat tinggal selama menjalani perkuliahan. Terimakasih telah bersedia untuk menerima penulis sebagai penghuni bari serta mendengarkan dan berbagi keluh kesah dalam menjalani perkuliahan.
14. Barudak PSG (Opik, Aziez dan Kadek) dan Kevin Bahy (Wakom) selaku teman penulis dalam menjalani Kerja Praktik dan Tugas Akhir. Terimakasih telah mengajak penulis dalam menjalankan KP serta TA di luar kampus sehingga penulis mendapatkan pengalaman berharga dalam mengetahui dunia kerja di perusahaan-perusahaan tempat penulis menjalani KP dan TA.
15. Sahabat penulis yaitu Ole, Hikmal dan Nando yang telah menemani penulis dari tingkat Sekolah Dasar (SD) hingga saat ini. Semoga hubungan kita bisa terus seperti ini hingga akhir hayat kelak. Semoga mimpi-mimpi akan cepat terwujud dan semoga hal-hal baik terus membersamai kalian.
16. Amanda Faza Fahirani yang telah menemani dan memberikan semangat serta dukungan untuk penulis dalam menyelesaikan perkuliahan dari awal hingga akhir sehingga akhirnya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dan mendapatkan gelar sarjana. Atas semua waktu dan dukungannya penulis mengucapkan terimakasih dan semoga hal-hal baik selalu membersamai kita.
17. Abang, kakak & adik-adik TG yang telah dengan penuh semangat dan kebaikan hati turut membantu serta memberi dukungan selama proses penyelesaian tugas akhir ini. Kehadiran kalian menjadi penyegar dan pengingat perjalanan di Teknik Geofisika.
18. Terakhir, penulis mengucapkan terimakasih kepada diri sendiri atas segala perjuangan yang telah dilakukan. Terimakasih karena telah kuat menjalani

permasalahan serta hiruk pikuk duniawi. Tidak ada kata lain selain rasa bangga atas semua perjuangan selama ini.

Serta kepada seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, penulis mengucapkan terima kasih atas segala bentuk dukungan, bantuan, dan doa yang telah diberikan. Semoga Allah SWT membalas setiap kebaikan tersebut dengan keberkahan yang melimpah.

Bandar Lampung, 27 Januari 2026

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Farhan', with a long, sweeping horizontal line extending to the right.

M. Farhan Al Rasyid
NPM. 2115051046

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
MENGESAHKAN	iv
RIWAYAT HIDUP	vi
PERSEMBAHAN.....	viii
MOTTO	ix
KATA PENGANTAR.....	x
SANWACANA.....	xi
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL	xxi
I. PENDAHULUAN	2
1.1 Latar Belakang.....	2
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Lokasi Penelitian	5
2.2 Geologi Regional.....	5
2.2.1 <i>Tectonic Setting</i> Daerah Penelitian.....	5
2.2.2 Geologi Regional Daerah Penelitian	7
2.3 Penelitian Terdahulu.....	12

III. TEORI DASAR.....	15
3.1 Metode <i>Resistivity</i>	15
3.1.1 Prinsip Dasar Metode <i>Resistivity</i>	16
3.1.2 Elektroda Arus Tunggal Pada Kedalaman.....	18
3.1.3 Dua Elektroda Arus di Permukaan	19
3.2 Metode <i>Induced Polarization</i> (IP).....	20
3.2.1 Prinsip Dasar Metode <i>Induced Polarization</i> (IP)	22
3.2.2 Polarisasi Membran	23
3.2.3 Polarisasi Elektroda	24
3.3 Konfigurasi Dipole-Dipole	25
3.4 <i>Resistivity</i> Batuan	26
3.5 Genesa Emas.....	29
3.6.1 Endapan Primer	29
3.6.2 Endapan Sekunder	29
3.6 Mineralisasi Hidrotermal.....	30
3.6.1 Proses Hidrotermal	31
3.6.2 Endapan <i>Hypothermal</i>	33
3.6.3 Endapan <i>Mesothermal</i>	34
3.6.4 Endapan <i>Epithermal</i>	34
3.6.5 <i>Epithermal Low Sulfidation</i>	36
IV. METODOLOGI PENELITIAN.....	41
4.1 Waktu dan Tempat Penelitian	41
4.2 Alat dan Bahan	43
4.3 Prosedur Penelitian	43
4.3.1 Studi Literatur	44
4.3.2 <i>Quality Control</i> (QC) Data	44
4.3.3 Pengolahan Inversi 2D.....	44
4.3.4 Pemodelan 3D.....	44
4.4 Interpretasi	45
4.5 Diagram Alir.....	46

V. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	45
5.1 Struktur Geologi Daerah Penelitian.....	45
5.2 Data Penelitian.....	49
5.3 Inversi 2D	49
5.3.1 Penampang inversi 2D Lintasan 8800N	49
5.3.2 Penampang inversi 2D Lintasan 9200N	50
5.3.3 Penampang inversi 2D Lintasan 9600N	51
5.3.4 Penampang inversi 2D Lintasan 10000N	52
5.3.5 Penampang inversi 2D Lintasan 10300N	53
5.3.6 Penampang inversi 2D Lintasan 10400N	55
5.3.7 Penampang inversi 2D Lintasan 10500N	56
5.4 Interpretasi Struktur.....	57
5.4.1 Lintasan 8800N.....	58
5.4.2 Lintasan 9200N.....	59
5.4.3 Lintasan 9600N.....	60
5.4.4 Lintasan 10000N.....	61
5.4.5 Lintasan 10300N.....	62
5.4.6 Lintasan 10400N.....	62
5.4.7 Lintasan 10500N.....	63
5.5 Model 3D <i>Resistivity</i>	65
5.6 Integrasi Penampang <i>Chargeability</i> dan <i>Resistivity</i>	67
5.6.1 Lintasan 8800N.....	67
5.6.2 Lintasan 9200N.....	68
5.6.3 Lintasan 9600N.....	69
5.6.4 Lintasan 10000N.....	70
5.6.5 Lintasan 10300N.....	71
5.6.6 Lintasan 10400N.....	72
5.6.7 Lintasan 10500N.....	74
5.7 Kemenerusan Zona Mineralisasi Emas	75
5.8 Model Geologi.....	77
VI. KESIMPULAN DAN SARAN.....	78

6.1	Kesimpulan.....	78
6.2	Saran	79
DAFTAR PUSTAKA		80

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Peta lokasi penelitian.....	5
2. Peta tektonik Laut Maluku Utara dan Halmahera–Waigeo (Koesoemadinata, 2020).....	6
3. A. Skema kolom stratigrafi dalam Micklethwaite, 2010, B. Geologi yang menunjukkan distribusi endapan dan urat epitermal (Olberg dkk., 1999)	11
4. Delineasi zona urat pembawa emas di daerah penelitian (Sidiq, 2003).....	12
5. Korelasi anomali Resistivity tinggi dan Chargeability tinggi (Wahyu, 2014)..	13
6. Konsep dasar geolistrik (Reynolds, 1997).	15
7. Elektroda arus dan potensial permukaan homogen (Telford, 1990).....	19
8. Pola aliran arus dan bidang ekuipotensial antara dua elektroda arus dengan polaritas berlawanan (Telford, 1990)	20
9. Fenomena Induksi Polarisasi (Kearey dkk., 2002).	23
10. Polarisasi membran karena penyempitan pada butiran mineral (Reynolds, 1997).	23
11. Polarisasi membran pada batuan (a) sebelum dan (b) setelah dialiri arus listrik (Ward, 1990).	24
12. Polarisasi elektroda pada batuan (a) tidak ada mineral logam dan (b) ada mineral logam (Telford, 1990).....	25
13. Skema konfigurasi dipole-dipole (Telford, 1990).....	26
14. Diagram hubungan antara Resistivity (Ωm) dan konduktivitas (mS/m) dari berbagai jenis material geologi (Ward, 1990).....	27
15. Proses pembentukan emas sekunder (Corbett dan Leach, 1998).....	30
16. Fluida hidrotermal (Robb, 2005).....	31
17. Sistem endapan mineral hidrotermal (Corbett dan Leach, 1998).	32
18. Endapan mineral logam yang terbentuk oleh proses hidrotermal (Pirajno, 2009)	32
19. Keberadaan endapan hypothermal (Corbett dan Leach, 1998).....	33

20. Model endapan porfiri dengan endapan epitermal (Corbett dan Leach, 1998)	35
21. Model konseptual mineralisasi emas (Corbett dan Leach, 1998).	36
22. Model konseptual epitermal low sulfidation (Corbett dan Leach, 1998).....	37
23. Diagram alir penelitian.....	46
24. Interpretasi struktur lokal daerah penelitian (Modifikasi dari Olberg, 1999) .	45
25. Hasil Inversi 2D penampang Chargeability dan Resistivity lintasan 8800N..	50
26. Hasil inversi 2D penampang Chargeability dan Resistivity lintasan 9200N ..	51
27. Hasil inversi 2D penampang Chargeability dan Resistivity lintasan 9600N ..	52
28. Hasil inversi 2D penampang Chargeability dan Resistivity lintasan 10000N	53
29. Hasil inversi 2D penampang Chargeability dan Resistivity lintasan 10300N	54
30. Hasil inversi 2D penampang Chargeability dan Resistivity lintasan 10400N	55
31. Hasil inversi 2D penampang Chargeability dan Resistivity lintasan 10500N	56
32. Interpretasi struktur penampang 2D Resistivity lintasan 8800N	59
33. Interpretasi struktur penampang 2D Resistivity lintasan 9200N	60
34. Interpretasi struktur penampang 2D Resistivity lintasan 9600N	60
35. Interpretasi struktur penampang 2D Resistivity lintasan 10000N	61
36. Interpretasi struktur penampang 2D Resistivity lintasan 10300N	62
37. Interpretasi struktur penampang 2D Resistivity lintasan 10400N	63
38. Interpretasi struktur penampang 2D Resistivity lintasan 10500N	64
39. Model distribusi Resistivity 3D daerah penelitian, A. Berarah Barat – Timur dan Berarah Timur – Barat, B. Kemenerusan Major Structure, C. Kemenerusan Minor Structure, D. Kemenerusan Zona Cap	66
40. Lintasan Chargeability dan Resistivity line 8800N	67
41. Lintasan Chargeability dan Resistivity line 9200N	69
42. Lintasan Chargeability dan Resistivity line 9600N	70
43. Lintasan Chargeability dan Resistivity line 10000N	71
44. Lintasan Chargeability dan Resistivity line 10300N	72
45. Lintasan Chargeability dan Resistivity line 10400N	73
46. Lintasan Chargeability dan Resistivity line 10500N	74
47. A. Kemenerusan Zona Mineralisasi, B. Tampak atas.....	76
48. Model geologi integrasi <i>Chargeability</i> dan <i>Resistivity</i>	77

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Waktu charging dan waktu integrasi masing-masing sekitar 1 menit (Telford, 1990).	21
2. Waktu charging dan waktu integrasi yang lebih realistis, masing-masing 3 detik dan 0,02–1,0 detik (Telford, 1990).	21
3. Nilai chargeability mineral pada konsentrasi 1% di dalam sampel (Telford, 1990).	22
4. Nilai Resistivity beberapa material (Modifikasi Telford, 1990).	27
5. Nilai Resistivity Ore Mineral (Modifikasi Telford, 1990).	28
6. Nilai Resistivity batuan hasil alterasi (Modifikasi Telford, 1990).	28
7. Nilai Resistivity batuan hasil alterasi (Modifikasi Telford, 1990).	28
8. Karakteristik himpunan mineral alterasi low-sulphidation epithermal (Modifikasi Thompson dan Thompson 1996).	39
9. Jadwal kegiatan penelitian	42
10. Alat dan bahan penelitian	43
11. Skala nilai Resistivity dan Chargeability serta interpretasi terhadap struktur geologi	57

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu kawasan dengan keragaman geologi yang sangat kompleks dan dinamis sebagai akibat dari pertemuan tiga lempeng tektonik utama dunia, yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik. Interaksi tektonik tersebut mengakibatkan terbentuknya busur magmatik aktif, cekungan sedimen, serta zona subduksi yang memanjang dari Sumatra, Jawa, Nusa Tenggara, hingga Sulawesi dan Halmahera. Aktivitas magmatik dan tektonik yang intens di wilayah ini tidak hanya menghasilkan morfologi geologi yang khas, tetapi juga menciptakan kondisi yang ideal bagi perkembangan sistem hidrotermal dan pembentukan mineralisasi logam berharga, terutama emas, tembaga, dan perak (Soeria-Atmadja, 2001). Zona alterasi hidrotermal umumnya berkembang di sekitar pusat vulkanik atau intrusi magmatik yang berperan sebagai sumber panas dan fluida pembawa mineral. Dengan demikian, banyak daerah di Indonesia, khususnya yang berada pada zona busur magmatik, memiliki potensi yang tinggi untuk ditemukannya endapan mineral bernilai ekonomis. Daerah dengan potensi mineralisasi emas umumnya berkembang di lingkungan vulkanik aktif. Di banyak wilayah eksplorasi, seperti Lapangan "Arjuna" yang termasuk dalam wilayah kerja PT Puncakbaru Jayatama, indikasi keberadaan zona alterasi permukaan telah menjadi dasar awal dalam penentuan target eksplorasi. Zona alterasi ini terbentuk akibat interaksi antara fluida hidrotermal panas dengan batuan inang, yang menyebabkan perubahan mineralogi secara khas. Alterasi ini sering kali berasosiasi erat dengan mineralisasi logam berharga, termasuk emas (Corbett & Leach, 1998).

Kemunculan zona alterasi dan mineralisasi emas di wilayah-wilayah prospek seperti Lapangan "Arjuna" tidak dapat dipisahkan dari kendala geologi regional yang mendasarinya. Secara tektonik, wilayah Halmahera terletak pada zona kompleks pertemuan lempeng yang aktif, di mana aktivitas magmatik dan vulkanik sangat intensif sejak zaman Tersier hingga Kuartar.

Kondisi ini menciptakan lingkungan geologi yang mendukung terbentuknya sistem hidrotermal, yang kemudian menghasilkan proses alterasi dan mineralisasi logam berharga, termasuk emas. Struktur regional seperti sesar-sesar besar, zona rekahan, dan keberadaan intrusi batuan beku memberikan jalur bagi pergerakan fluida mineralisasi dari kedalaman menuju permukaan, yang selanjutnya membentuk sistem epithermal dan porfiri yang umum ditemukan di lingkungan vulkanik aktif seperti di Halmahera (Sutarto, 2020). PT Puncakbaru Jayatama sebagai pemegang izin eksplorasi di wilayah ini memiliki target utama untuk mengidentifikasi potensi sumber daya emas yang tersembunyi di bawah permukaan, dengan mengacu pada karakteristik geologi regional yang mendukung pembentukan endapan epitermal.

Untuk mendukung pemetaan yang lebih mendalam terhadap struktur bawah permukaan zona mineralisasi emas, eksplorasi geofisika menjadi langkah penting yang harus dilakukan. Beberapa metode yang cocok digunakan dalam eksplorasi zona mineralisasi emas adalah metode *Resistivity* dan metode *Induced Polarization* (IP). Metode *Resistivity* sangat efektif dalam mengidentifikasi kontras sifat kelistrikan batuan yang dapat mengindikasikan keberadaan zona cebakan emas yang tersembunyi. Selain itu, metode *induced polarization* (IP) juga sangat berguna karena mampu mendeteksi keberadaan mineral sulfida tersebar, seperti pirit, yang sering berasosiasi dengan sistem mineralisasi emas. Respons *induced polarization* (IP) yang tinggi biasanya mencerminkan akumulasi mineral logam tak langsung, sehingga menjadi indikator penting dalam penentuan zona target. Integrasi antara metode *Resistivity* dan *induced polarization* (IP) memungkinkan interpretasi yang lebih komprehensif terhadap zona mineralisasi bawah permukaan. *Resistivity* membantu mengidentifikasi variasi litologi dan zona rekahan, sementara *induced polarization* (IP) menyoroti keberadaan mineral logam terdiseminasi yang berasosiasi dengan proses hidrotermal. Kombinasi kedua metode ini terbukti efektif dalam mendelineasi zona prospektif pada tahap eksplorasi awal hingga lanjutan (Keller & Frischknecht, 1966; Sharma, 1997).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana struktur yang mempengaruhi adanya indikasi zona mineralisasi emas bawah permukaan di Lapangan "Arjuna", wilayah kerja PT Puncakbaru Jayatama?
2. Sejauh mana metode *Resistivity* dan *induced polarization* (IP) dapat mengidentifikasi karakteristik bawah permukaan yang berkaitan dengan zona mineralisasi?
3. Bagaimana hasil integrasi data *Resistivity* dan *induced polarization* (IP) dapat digunakan untuk menentukan target prospek eksplorasi emas secara lebih akurat?

1.3 Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Data yang digunakan adalah data Metode Geolistrik berupa data *Resistivity* dan *Chargeability*.
2. Data penunjang untuk penelitian kali ini merupakan data geologi regional serta data topografi.
3. Penelitian berfokus pada Lapangan "Arjuna", daerah zona PT Puncakbaru Jayatama.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini sendiri bertujuan untuk:

1. Mengidentifikasi struktur yang menjadi indikasi zona mineralisasi emas di Lapangan "Arjuna" berdasarkan data geofisika.
2. Menganalisis respon *Resistivity* dan *Chargeability* terhadap kondisi bawah permukaan yang berhubungan dengan zona mineralisasi.
3. Mengintegrasikan hasil pengukuran metode *Resistivity* dan IP guna memodelkan zona prospektif yang berpotensi mengandung mineralisasi emas, sebagai acuan untuk tahapan eksplorasi lanjutan.

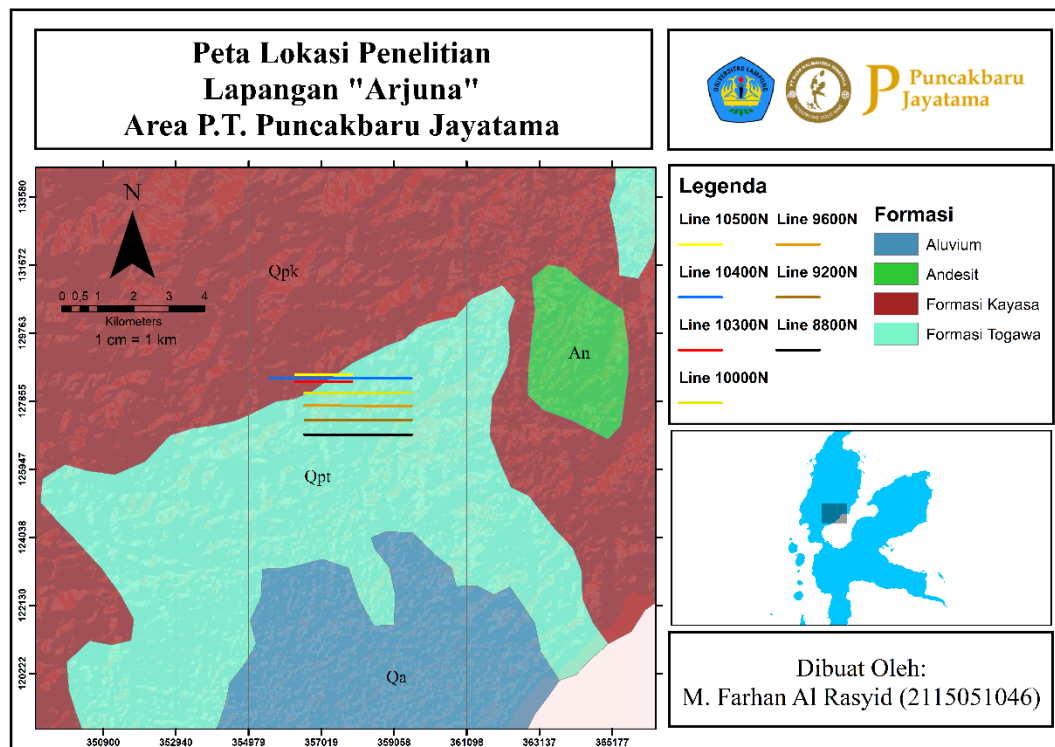
1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan gambaran bentuk zona mineralisasi emas berdasarkan hasil penampang dari integrasi data *Resistivity* dan *Chargeability*. Hasil ini bisa digunakan untuk penelitian lebih lanjut atau bisa digunakan sebagai acuan untuk dilakukan pemboran sehingga bisa menjadi tempat produksi selanjutnya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada pada area 'KN' IUP (Izin Usaha Pertambangan) milik PT. Puncakbaru Jayatama yang terbagi menjadi 3 lokasi yaitu Blok Eksplorasi Gosowong. Secara geologi regional area berada pada lembar Ternate. Luas daerah penelitian sendiri sekitar 12 km².



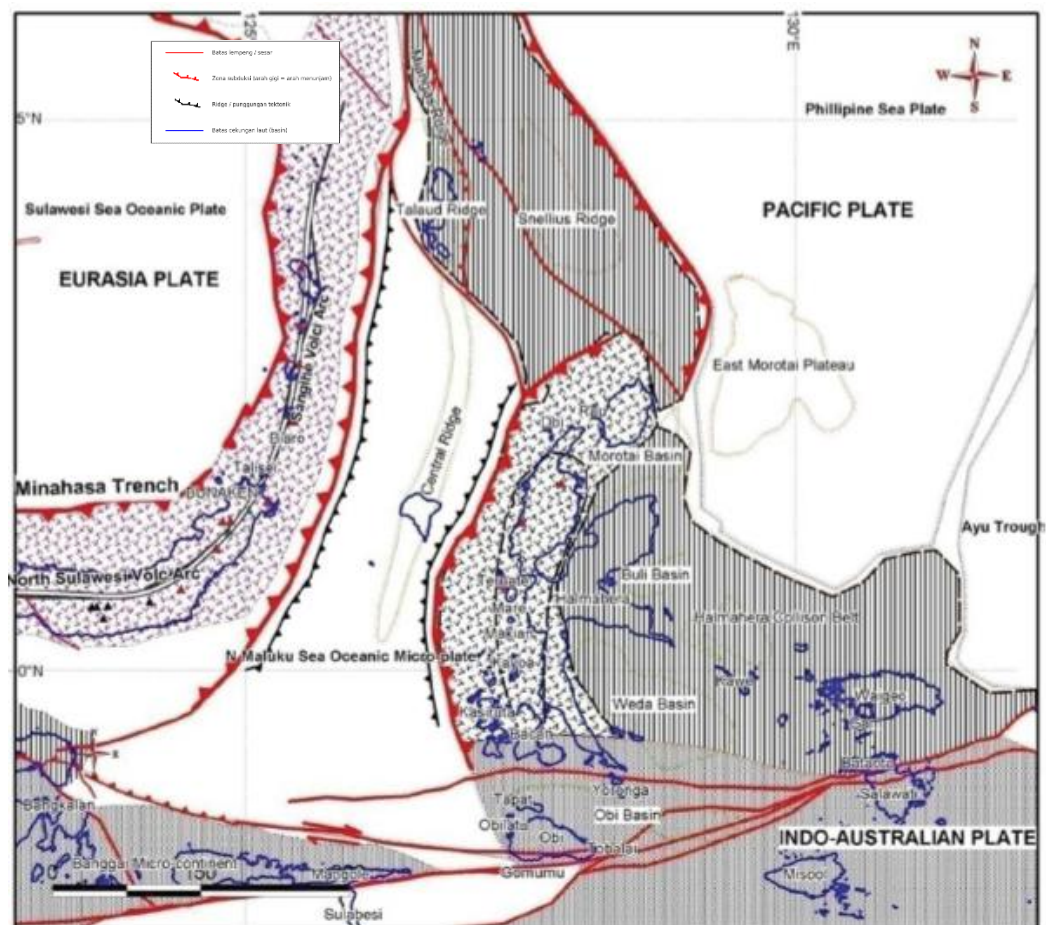
Gambar 1. Peta lokasi penelitian

2.2 Geologi Regional

2.2.1 Tectonic Setting Daerah Penelitian

Wilayah Laut Maluku Utara dan Halmahera diduga memiliki kaitan erat, bahkan kemungkinan menjadi bagian dari Lempeng Pasifik yang lebih luas. Laut Maluku Utara sendiri dianggap sebagai lempeng samudra kecil yang terpisah dari lempeng kecil Filipina di utara oleh sesar geser, dan dari cekungan samudra Laut Sulawesi oleh zona subduksi Sangihe. Wilayah Halmahera, termasuk Pulau

Waigeo, juga diklasifikasikan sebagai lempeng samudra kecil tersendiri. Kedua lempeng ini—Maluku Utara dan Halmahera–Waigeo—berbatasan di selatan dengan Sesar Sula–Sorong. Beberapa ahli menyatakan bahwa batas ini merupakan sesar naik. Berdasarkan studi Muraoka (2005), pergerakan lempeng saat ini menunjukkan bahwa kedua lempeng kecil tersebut bekerja sebagai satu kesatuan tektonik besar bersama Lempeng Pasifik yang bergerak ke arah barat. Di sisi lain, Lempeng Pasifik dipisahkan dari Pulau Papua—yang merupakan bagian dari Lempeng Indo-Australia—oleh Zona Sesar Sorong (Koesoemadinata, 2020).



Gambar 2. Peta tektonik Laut Maluku Utara dan Halmahera–Waigeo (Koesoemadinata, 2020)

Pulau Halmahera memiliki sistem subduksi ganda yang terdapat pada Lempeng Laut Maluku. Sistem subduksi ini yaitu subduksi berarah Barat di bawah Busur Sangihe dan subduksi berarah Timur di bawah Busur Halmahera. Dua sistem

subduksi ini menghasilkan pegunungan vulkanik di sebelah Barat dan pegunungan non-vulkanik di sebelah Timur (Hall, 1988). Pertemuan dari beberapa lempeng tersebut menyebabkan saling mendorong antara satu dengan yang lain menjadikan wilayah Maluku Utara memiliki potensi kegempaan yang cukup aktif. Di bagian Selatan terdapat sesar memanjang yang melintasi wilayah Halmahera Selatan seperti Kepulauan Bacan, Pulau Obi, Kepulauan Sula, dan memanjang hingga ke wilayah Papua. Sesar tersebut adalah segmen sesar Sorong yang bertipe strike slip mengiri (Hall, 2000). Zona sesar Sorong membentang sepanjang 1900 km mulai dari Pesisir Timur Teluk Cendrawasih ke arah Barat hingga berujung di Kepulauan Banggai, Sulawesi Tengah. Zona sesar Sorong cenderung aktif dengan rata-rata *slip-rate* sekitar 32 mm/tahun (Watkinson & Hall, 2017).

2.2.2 Geologi Regional Daerah Penelitian

Secara umum, stratigrafi yang berkembang pada Kompleks Halmahera–Waigeo di Lengan barat laut tersusun atas empat busur vulkanik yang saling tumpang tindih, yang terbentuk sebagai hasil dari proses subduksi Lempeng Laut Maluku di bawah Halmahera sejak Paleogen. Keempat satuan gunungapi–sedimen tersebut masing-masing dikenal sebagai Formasi Bacan (Paleogen), Formasi Gosowong (Miosen Atas), Formasi Kayasa (Pliosen), serta Formasi Vulkanik Kuartar yang berada di bagian paling atas dan hingga kini masih mengalami proses pengendapan (Olberg dkk., 1999). Setiap formasi tersebut dipisahkan oleh ketidakselarasan sudut regional utama yang mencerminkan adanya jeda waktu geologi yang signifikan. Selanjutnya, menurut Hall (1988), stratigrafi di Pulau Halmahera dapat dibagi sebagai berikut:

a) Komplek Basement

Batuan *basement* yang tersingkap pada sebelah selatan Pulau Bacan terdiri dari batuan kristalin kontinental, batuan basa, dan ultrabasa terdeformasi (Van Bemmelen, 1970; Yasin, 1980; Hall dkk., 1980; dalam Darman dan Sidi, 2000). Batuan *basement* pada lengan barat daya Halmahera terdiri dari batuan vulkanik dan vulkaniklastik yang diasosiasikan dengan batuan beku intrusi.

Provinsi Timur memiliki *basement* berupa kompleks ofiolit dan sedimen laut dalam Mesozoik, yang terimbikasi dengan sedimen Paleogen dan dilapisi oleh klastik marin Neogen dan karbonat (Sukanto dkk., 1981; Suriaatmadja, 1981; dalam Darman dan Sidi, 2000). Batuan dasar lengan tengah Halmahera terdiri dari kompleks batuan basa dan ultrabasa, dengan *overprint* metamorfosa *grade* rendah di beberapa area, dan terinterkalasi dengan sedimen Mesozoik dan Eosen.

b) Formasi Marl Onat (Oligosen Tengah–Akhir)

Di sebelah timur lengan barat laut, diendapkan Formasi Marl Onat secara tidak selaras di atas *Basement Complex*. Formasi ini terletak pada Sungai Onat dan termasuk ke dalam fasies *deep water off-reef*. Formasi Marl Onat terdiri dari napal putih lunak, batulumpur abu-abu, dan batulanau *interbedded* dengan lempung dan *calcisiltite* berumur Oligosen Tengah hingga Akhir. Fosil yang terdapat pada formasi ini meliputi *Chiloguembelina spp.*, *Dentoglobigerina*, *Tenuitella spp.*, *Cassigerinella chipolensis*. Pada bagian barat Sungai Onat, batugamping terumbu diendapkan pada Miosen Awal namun karbonat terumbu di timur laut Halmahera berumur Oligosen Akhir.

c) Formasi Konglomerat Jawali (Oligosen – Miosen Awal)

Batuan di bagian barat Sungai Onat termasuk ke dalam Formasi Konglomerat Jawali. Lembah bagian atas Sungai Jawali terdiri dari bongkah konglomerat dengan klastik ofiolit. Klastik memiliki sortasi buruk, kebundaran baik, dan memiliki ukuran yang bervariasi hingga diameter 0,5 meter. Konglomerat memiliki kemas terbuka dengan matriks bersortasi buruk berupa batupasir kerikil dengan detritus ofiolit dan klastik karbonat. Kontak dengan *Basement Complex* tidak terlihat namun semakin mendekati *basement*, klastik pada konglomerat berukuran semakin besar dengan jumlah matriks dan karbonat yang semakin berkurang.

d) Formasi Batugamping Subaim (Miosen Awal–Pliosen Awal)

Formasi Batugamping Subaim terletak secara tidak selaras di atas *Basement Complex* dan menempati area yang luas pada bagian utara di lengan timur laut Halmahera. Formasi ini terletak di Sungai Subaim dengan litologi batugamping yang tersingkap dengan baik. Batugamping terumbu dan batugamping klastik *forearc* menutupi pengunungan di bagian barat daerah Subaim dengan ketinggian

mencapai 1084 meter. Transisi dari Formasi Konglomerat ke formasi ini tersingkap di Sungai Jawali. Kemungkinan batugamping ini terletak tepat di atas *Basement Complex* dan di atas batuan pra-Neogen lainnya.

e) Formasi Marl Saolat (Pliosen Awal)

Di daerah pengunungan yang terletak di sisi pesisir, terjadi perubahan mendadak dari batugamping menjadi napal abu-abu halus, bagian Formasi Marl Saolat yang tersingkap di Sungai Saolat. Napal diendapkan pada kondisi yang sangat tenang dibuktikan dengan banyaknya lapisan yang mengandung jejak daun berbentuk sempurna dan di Sungai Saolat ditemukan fosil echinoida dengan diameter sekitar 10 cm. Sisa-sisa tanaman, utamanya daun, ditemukan dalam jumlah melimpah. Pada beberapa lapisan terdapat juga fosil bivalvia cangkang tipis dengan jumlah yang melimpah. Struktur sedimen yang sedikit dan fosil daun serta echinoida mengindikasikan proses pembenahan yang sangat cepat atau aktivitas biologi yang sedikit. Ketebalan formasi ini sekurangnya mencapai 100 meter.

f) Formasi Batupasir Wasile (Pliosen Awal)

Di bagian atas lembah Sungai Wasile, terdapat kontak antara *Basement Complex* dengan batuan berumur Neogen. Kontak tersebut berupa sesar yang ditandai oleh zona serpentinit. Di sebelah selatan zona ini terdapat zona turbidit batupasir dan batulumpur. Kemungkinan Formasi Wasile berumur Pliosen (dibuktikan dengan intraklastik termasuk mikrit pelagik Neogen yang mengandung *Globigerinoides*, *Sphaeroidinellopsis*, *Globorotalia cf. menardii*, *Sphaeroidinellopsis*, *Pulleinattia?*, *Globigerinoides cf. obliquus*, *cf. obliquulus*, *cf. unculata*, *Globorotalia menardii*, *Globuquadrina*, *Sphaeroidinellopsis*, *Orbulina*, dan *Globorotalia scitula*). Batuan teruta pada Formasi Wasile berupa batupasir abu-abu kekuningan *medium-bedded* berselang-seling dengan lanau dan batulumpur lanauan. (Hall, R., dan Wilson, 2000).

Batupasir pada formasi ini bersifat gampingan dengan karbonat yang semakin berkurang pada bagian atas lapisan. Material silisiklastik berbentuk angular dan terdapat butiran klinopiroksen hijau dan plagioklas yang masih segar. Klastik berupa butiran vulkanik mikrogabro dan serpentinit. Hal ini menunjukkan

lingkungan pengendapan *prograding* submarine fan, dengan *bed* pada bagian atas mencerminkan hasil endapan *upper-fan channel-fill* (Hall, R., & Wilson, 2000).

g) Formasi Vulkanik Tapaya (Pliosen Awal–Akhir)

Di bagian selatan daerah Ekor yang dialiri oleh Sungai Parama, Tapaya, Kilotong, Petitgoaga, dan anak-anak sungainya, tersingkap transisi dari Formasi Batugamping Subaim menuju Formasi Marl Saolat. Napal dan batugamping napalan berselingan dengan turbidit vulkaniklastik dan sekuen tuf. Vulkaniklastik (Safiratyas, 2017).

h) Formasi Vulkanik Tofonga (Pliosen Akhir–Pleistosen Tengah)

Bagian barat Pulau Halmahera (sebelah barat Sungai Tapaya) didominasi oleh produk busur vulkanik berumur Pliosen Akhir–Pleistosen. Sedimen dari Formasi Vulkanik Tapaya *overlain* dengan Formasi Vulkanik Tofonga. Formasi Vulkanik Tofonga terdiri dari konglomerat vulkanik, basal/andesit porfiritik, dan tuf yang terkonsolidasikan berumur Pliosen Akhir sampai diperkirakan Pleistosen Awal. (Hall, dkk., 1988).

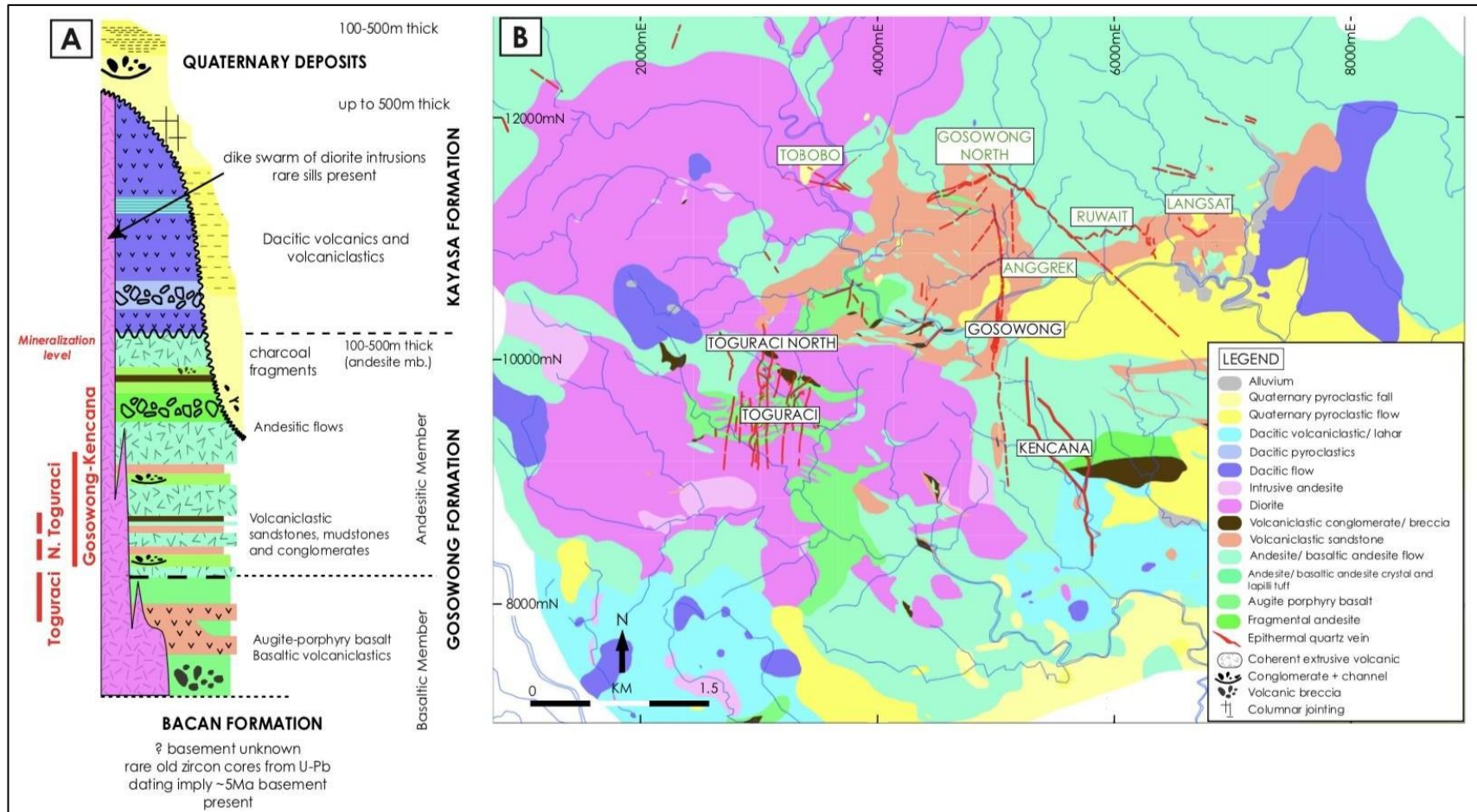
Bagian barat Halmahera Tengah tersusun dari lava kalk-alkali dan tuf yang diperkirakan berumur Pliosen Akhir sampai Pleistosen. Interkalasi tuf mengandung fauna Pleistosen (Hall, dkk., 1988). Formasi Vulkanik Tofonga juga mengandung material vulkaniklastik kasar berupa breksi vulkanik. Lava memperlihatkan struktur berlembar dan aliran. Pelapukan terjadi di banyak tempat hingga kedalaman sekurangnya 1,5 meter.

i) Koral Terumbu Kuarter

Koral Terumbu Kuarter diendapkan secara tidak selaras di atas batuan yang mengandung fragmen plagioklas, piroksen, dan fragmen andesit. (Hall, dkk., 1988).

j) Batuan Vulkanik Kuarter

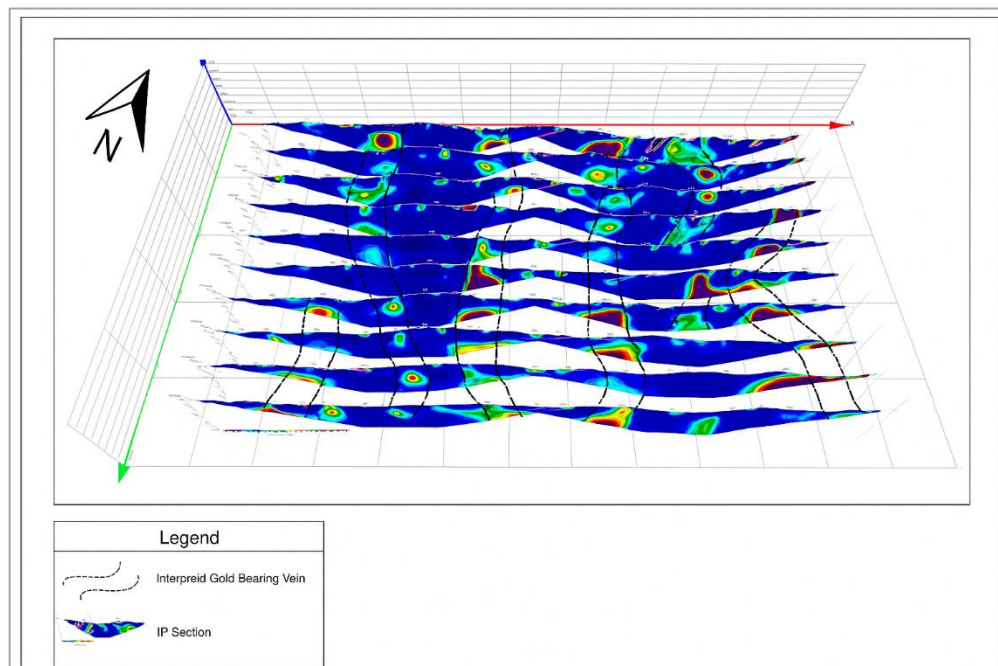
Busur Vulkanik Kuarter aktif terletak di bagian utara Makian dan busur nonaktif terletak di sebelah selatan Pulau Halmahera. Gunung api strato umumnya bertipe kalk-alkalin dengan produk berupa piroklastik dan lava basaltik sampai andesitik (Hall, dkk., 1988).



Gambar 3. A. Skema kolom stratigrafi dalam Micklethwaite, 2010, B. Geologi yang menunjukkan distribusi endapan dan urat epitermal (Olberg dkk., 1999)

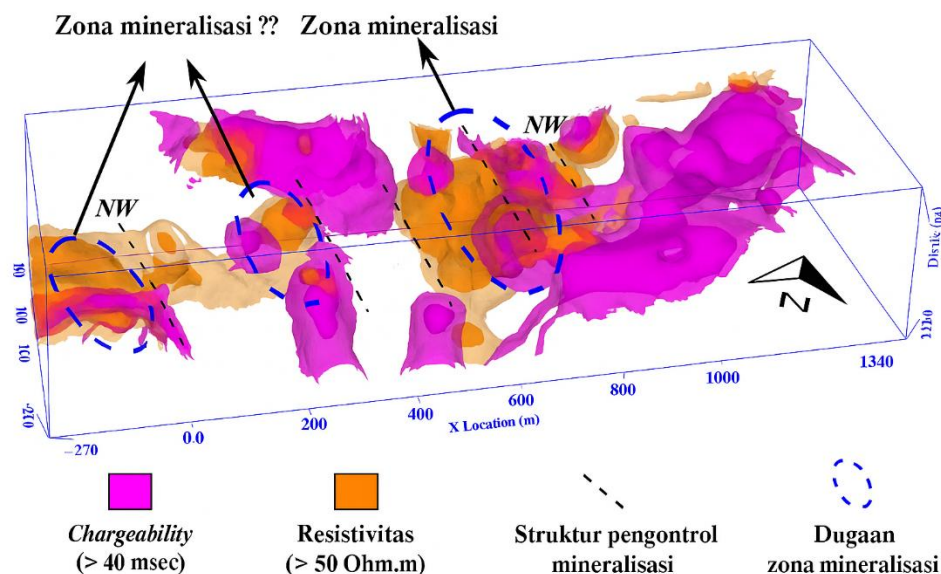
2.3 Penelitian Terdahulu

Pada jurnal berjudul “Kajian Alterasi Hidrotermal dan Mineralisasi Emas pada Sistem Epitermal Sulfidasi Rendah di Daerah Lebong Tandai, Bengkulu” oleh Muhammad Sidiq Umar, 2003, menjelaskan mengenai karakteristik alterasi hidrotermal dan mineralisasi emas pada sistem epitermal sulfidasi rendah di daerah Lebong Tandai, Bengkulu. Penelitian ini menekankan karakteristik alterasi hidrotermal dan mineralisasi emas pada sistem epitermal sulfidasi rendah, di mana mineralisasi banyak berasosiasi dengan urat kuarsa-adularia dan breksi hidrotermal. Dalam konteks ini, metode geofisika seperti *Resistivity*, *Induced Polarization (IP)*, dan magnetik memiliki peran penting untuk memperkuat hasil interpretasi geologi. *Resistivity* dapat membantu membedakan litologi serta zona alterasi, misalnya zona silisik dengan *Resistivity* tinggi atau zona argilik dengan *Resistivity* rendah. Sementara itu, metode IP berguna untuk mendeteksi keberadaan mineral sulfida seperti pirit yang berasosiasi erat dengan emas, sehingga nilai *Chargeability* tinggi dapat menjadi indikator zona prospek mineralisasi. Selain itu, metode magnetik dapat digunakan untuk mengidentifikasi struktur geologi berupa sesar dan rekahan yang berfungsi sebagai jalur utama fluida hidrotermal pembawa emas.



Gambar 4. Delineasi zona urat pembawa emas di daerah penelitian (Sidiq, 2003).

Penelitian selanjutnya adalah mengenai cadangan emas di daerah Ciparay, Banten pada jurnal berjudul “Identifikasi Zona Mineralisasi Emas Sistem Epitermal Sulfida Rendah Menggunakan Metode Geolistrik (*Resistivity* & *Induced Polarization* (IP)) dan Magnetik di Daerah Ciparay, Cibaliung” oleh Wahyu Eko, dkk. Penelitian ini dilakukan di daerah Ciparay, Cibaliung, Banten, dengan tujuan mengidentifikasi potensi cadangan emas baru pada sistem epitermal sulfidasi rendah. Untuk mencapai tujuan tersebut, digunakan tiga metode geofisika, yaitu magnetik, *Resistivity*, dan *Induced Polarization* (IP). Metode magnetik berperan sebagai survei pendahuluan untuk mendeteksi keberadaan struktur geologi yang mengontrol mineralisasi. Hasil peta RTP menunjukkan adanya anomali magnetik negatif (-220 hingga -135 nT) di bagian barat daya, yang diinterpretasikan sebagai sesar dan rekahan berarah barat laut (NW) dan utara–timur laut (NNE). Metode *Resistivity* dan IP digunakan untuk investigasi detail kondisi bawah permukaan.



Gambar 5. Korelasi anomali *Resistivity* tinggi dan *Chargeability* tinggi (Wahyu, 2014)

Zona prospek mineralisasi ditandai oleh anomali *Resistivity* tinggi (> 50 Ohm.m) yang berhubungan dengan batuan andesit teralterasi silika, serta *Chargeability* tinggi (> 40 msec) yang menunjukkan kehadiran mineral bijih seperti emas dan perak. Integrasi ketiga metode ini menunjukkan bahwa zona mineralisasi

berada pada patok 350–800 dengan arah sebaran mengikuti struktur geologi NW dan NNE. Dengan demikian, penelitian ini menegaskan bahwa kombinasi metode magnetik, *Resistivity*, dan IP efektif dalam mengidentifikasi zona prospek emas epitermal sulfidasi rendah di Cibaliung, serta memperkuat hubungan antara struktur geologi, alterasi hidrotermal, dan mineralisasi emas.

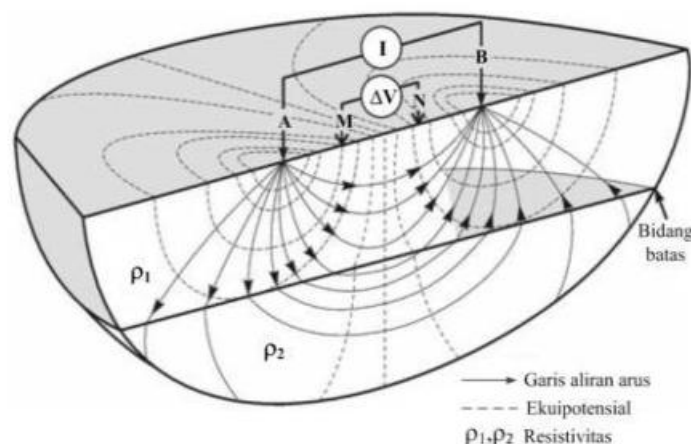
Penelitian selanjutnya adalah penelitian mengenai karakteristik zona epitermal sulfidasi rendah pada daerah pertambangan Alinghe, China pada jurnal yang berjudul “*Geophysical Characteristics of Low-Sulfide Epithermal Gold Mineralized Bodies—A Case Study of the Alinghe Mining Area on the South Bank of the Heilong River in China*” oleh Qichun Yin, Dkk. Penelitian ini membahas sistem mineralisasi epitermal dengan tujuan memahami hubungan antara geologi, alterasi hidrotermal, dan potensi mineralisasi bijih emas-perak. Untuk mencapai hal tersebut, penelitian memanfaatkan integrasi berbagai metode geofisika, khususnya *Resistivity*, *Induced Polarization* (IP), dan magnetik, yang digunakan untuk mendelineasi struktur geologi, zona alterasi, serta distribusi mineral sulfida yang menjadi indikator utama mineralisasi emas. Metode *Resistivity* diaplikasikan untuk mengidentifikasi zona silisik dan argilik berdasarkan variasi kontras kelistrikan batuan, sedangkan metode IP efektif dalam mendeteksi keberadaan mineral sulfida tersebar seperti pirit, yang berasosiasi erat dengan emas pada sistem epitermal sulfidasi rendah. Sementara itu, metode magnetik berperan dalam memetakan pola sesar dan rekahan, sekaligus mendeteksi intrusi yang berfungsi sebagai sumber panas hidrotermal. Hasil integrasi data geofisika dengan kajian petrologi dan geokimia menunjukkan bahwa zona mineralisasi emas umumnya terkendali oleh struktur NW–SE dan NE–SW yang menjadi jalur utama sirkulasi fluida hidrotermal. Dengan demikian, penelitian ini menegaskan bahwa kombinasi metode *Resistivity*, IP, dan magnetik memberikan kontribusi signifikan dalam eksplorasi sistem epitermal dengan meningkatkan akurasi identifikasi zona prospek mineralisasi emas dan perak.

III. TEORI DASAR

3.1 Metode *Resistivity*

Pada prinsipnya, metode pengamatan geofisika dilakukan dengan mengamati adanya penyimpangan atau gangguan terhadap kondisi fisik yang dianggap normal. Gangguan tersebut dapat berupa gangguan yang dihasilkan dan dipancarkan ke arah bawah permukaan bumi. Salah satu metode yang paling banyak diterapkan dalam survei geolistrik adalah metode *Resistivity*. Metode ini bertujuan untuk menggambarkan kondisi bawah permukaan dengan mempelajari nilai tahanan jenis listrik dari lapisan batuan penyusun bumi. Dalam penerapannya, arus listrik dialirkan ke dalam bumi melalui sepasang elektroda arus, sementara beda potensial diukur menggunakan elektroda potensial. Berdasarkan nilai arus dan beda potensial yang diperoleh, maka nilai *Resistivity* batuan dapat dihitung.

Metode geolistrik tahanan jenis didasarkan pada anggapan bahwa bumi mempunyai sifat homogen isotropis. Dengan asumsi ini, tahanan jenis yang terukur merupakan tahanan jenis yang sebenarnya dan tidak tergantung pada spasi elektroda. Namun pada kenyataannya bumi tersusun atas lapisan-lapisan dengan *Resistivity* yang berbeda-beda. Karenanya, harga *Resistivity* yang diukur seolah-olah merupakan harga *Resistivity* untuk satu lapisan saja *Resistivity* yang terukur sebenarnya adalah *Resistivity* semu (ρ_a).



Gambar 6. Konsep dasar geolistrik (Reynolds, 1997).

3.1.1 Prinsip Dasar Metode *Resistivity*

Analisis dilakukan dengan mengasumsikan arus mengalir pada media homogen isotropik, jika δA merupakan elemen permukaan serta $\vec{J}$ merupakan kerapatan arus dalam satuan ampere per meter persegi $\left(\frac{A}{m^2}\right)$, sehingga arus yang melewati δA adalah $\vec{J} \delta A$. Kerapatan arus $\vec{J}$ dan medan listrik $\vec{E}$ saling berhubungan melalui hukum Ohm:

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \quad (1)$$

$\vec{E}$ menggunakan satuan volt/meter dan σ adalah konduktivitas medium dalam satuan siemens/meter. Kemudian medan listrik adalah gradien dari potensial skalar yang terdefiniskan dengan persamaan berikut:

$$\vec{E} = -\vec{\nabla}V \quad (2)$$

kemudian persamaan (4) substitusikan kedalam persamaan (3), sehingga didapatkan persamaan berikut:

$$\vec{J} = -\sigma \vec{\nabla}V \quad (3)$$

Berdasarkan teori elektromagnetik dasar $\vec{\nabla} \cdot \vec{J} = 0$

$$\vec{\nabla}(\sigma \vec{\nabla}V) = 0 \quad (4)$$

$$\vec{\nabla} \sigma \vec{\nabla}V + \sigma \nabla^2 V = 0 \quad (5)$$

Jika σ adalah konstan, maka bentuk pertama dapat diabaikan dan persamaan potensial adalah harmonik

$$\nabla^2 V = 0 \quad (6)$$

Persamaan (6) yang diberikan merupakan persamaan dasar pada teori geolistrik tahanan jenis sehingga pada distribusi arus listrik searah dalam medium homogen isotropis memenuhi persamaan Laplace.

Keterangan:

$\vec{J}$: Kerapatan arus listrik (A/m²)

$\vec{E}$: Medan listrik (V/m)

σ : Konduktivitas medium (S/m)

V : Potensial listrik (Volt)

$\vec{\nabla}V$: Gradien potensial listrik (V/m)

Pada dasarnya implementasi metode resistivitas menggunakan Hukum Ohm yang ditemukan pada tahun (1787-1854) oleh ilmuwan Jerman George Simon Ohm. Menurut Goerge, bahwa beda potensial (V) timbul di ujung suatu medium berbanding lurus dengan arus listrik (I) yang mengalir pada medium tersebut. Kemudian ketahanan Listrik (R) menyatakan berbanding lurus dengan Panjang medium (L) dan berbanding terbalik pada luas penampangnya (A), sehingga persamaan dari pernyataan George ini dituliskan sebagai berikut:

$$V \propto I \text{ atau } R = \frac{V}{I} \quad (7)$$

$$R \propto \frac{L}{A} \text{ atau } R = \rho \frac{L}{A} \quad (8)$$

Prinsip kerja metode berikut yaitu mengalirkan arus Listrik secara searah kedalam bumi dengan menggunakan dua buah elektroda arus tertancap pada dua titik permukaan tanah dan mengukur respon beda potensial yang terjadi antar dua titik tersebut.

Keterangan:

I : Arus Listrik (Ampere)

V : Tegangan Listrik (Volt)

R : Hambatan Listrik (ohm)

L : Panjang Medium (m)

A : Luas Penampang (m²)

3.1.2 Elektroda Arus Tunggal Pada Kedalaman

Potensial (V) akibat suatu sumber arus tunggal (I) pada medium homogen dengan (ρ) konstan pada seluruh ruang lebih sesuai jika dibahas dalam sistem koordinat bola. Karena sifat simetri dari sistem yang ditinjau dalam hal ini tidak berotasi dan berevolusi maka potensial hanya menerapkan fungsi dari jarak r atau $V(r)$ sehingga persamaan dituliskan (Telford, 1990):

$$\nabla^2 V = \frac{1}{r^2} \frac{dV}{dr} \left(r^2 \frac{dV}{dr} \right) = 0 \quad (9)$$

Integrasi sebanyak dua kali terhadap persamaan berikut:

$$\int r^2 \frac{dV}{dr} dr = 0 \rightarrow r^2 \frac{dV}{dr} = P \rightarrow \frac{dV}{dr} = \frac{P}{r^2} \quad (10)$$

$$V = \int \frac{P}{r^2} dr = -\frac{P}{r} + Q \quad (11)$$

dengan P dan Q merupakan konstanta. Dengan menerapkan batas bawah potensial pada jarak tidak berhingga memiliki harga sama dengan nol ($V = 0, r = \infty$), maka $Q = 0$, sehingga persamaan (12) menjadi:

$$V = -\frac{P}{r} \quad (12)$$

Substitusi dengan menggunakan persamaan $J\delta A$ maka didapatkan:

$$I = 4\pi r^2 (-\sigma \nabla V) = 4\pi r^2 \sigma \frac{P}{r^2} = -4\pi \sigma P \quad (13)$$

Karena $\sigma = 1$, maka persamaan (14) dapat ditulis:

$$P = -\frac{I\rho}{4\pi} \quad (14)$$

Persamaan (13) disubstitusikan pada persamaan (14) maka:

$$V = \left(\frac{I\rho}{4\pi} \right) \frac{1}{r} \text{ atau } V = \left(\frac{I\rho}{4\pi} \right) \frac{1}{r} \quad (15)$$

Berdasarkan persamaan tersebut, permukaan ekuipotensial yaitu permukaan dengan potensial yang sama, membentuk permukaan bola konsentris dengan titik pusat terletak pada sumber arus. Dari titik tersebut kemudian mengalir arus listrik disegala arah secara homogen, dan membentuk lintasan tegak lurus terhadap permukaan ekuipotensial dimana r sama dengan konstanta.

Keterangan:

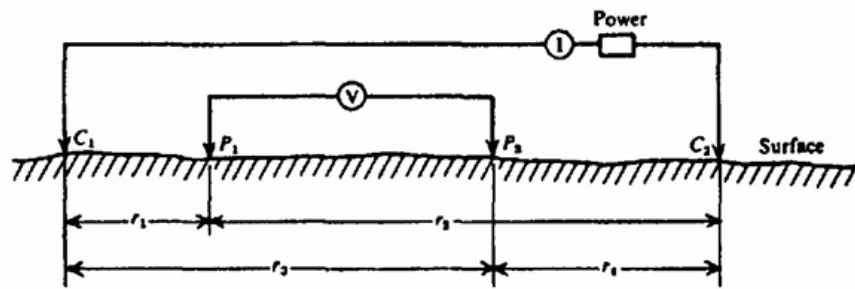
$\nabla^2 V$: Laplasian potensial listrik (V/m^2)

r : Jarak dari pusat sumber (m)

$4\pi r^2$: Luas permukaan bola dengan radius (m²)

3.1.3 Dua Elektroda Arus di Permukaan

Terdapat potensial listrik dari dua sumber arus di dalam bumi yang telah ditentukan jarak antara kedua elektroda tersebut. Hal tersebut menunjukkan P_1 dan P_2 merupakan elektroda potensial sedangkan C_1 dan C_2 adalah elektroda arus. Sedangkan jarak antara tiap elektroda diilustrasikan r_1 , r_2 , r_3 , dan r_4 seperti tampilan pada Gambar .



Gambar 7. Elektroda arus dan potensial permukaan homogen (Telford, 1990)

Berdasarkan pada persamaan (15) dimana, besarnya nilai potensial V_1 dan V_2 disebabkan dari sumber arus C_1 dan C_2 dengan persamaan berikut:

$$V_1 = \frac{Ip}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \text{ dan } V_2 = \frac{Ip}{2\pi} \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \quad (16)$$

Sehingga dari persamaan 11 didapatkan nilai beda potensial adalah

$$\Delta V = V_1 - V_2 \quad (17)$$

$$V = \frac{Ip}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right] \quad (18)$$

Dari persamaan diatas didapatkan formula resistivitas yaitu

$$\rho = \frac{2\pi}{\left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right]} \frac{\Delta V}{I} \quad (19)$$

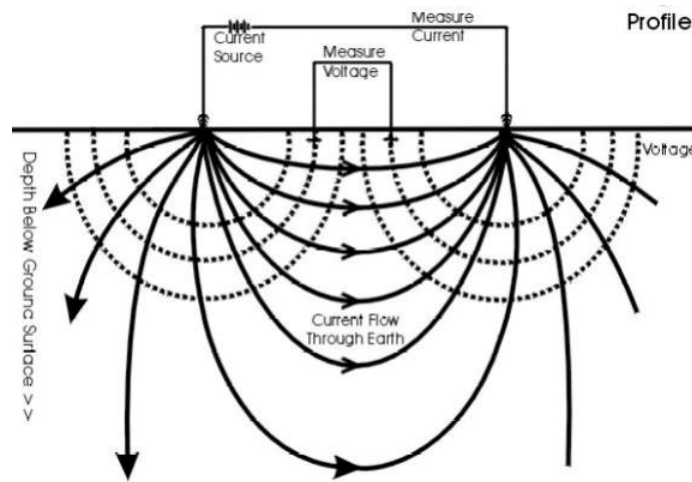
Disederhanakan menjadi

$$\rho = k \frac{\Delta V}{I} \quad (20)$$

Sehingga didapatkan nilai K yang disebut dengan faktor geometri

3.2 Metode *Induced Polarization* (IP)

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.



Gambar 8. Pola aliran arus dan bidang ekipotensial antara dua elektroda arus dengan polaritas berlawanan (Telford, 1990)

Metode *Induced Polarization* (IP) merupakan salah satu metode geofisika yang memanfaatkan karakteristik kelistrikan suatu medium. Prinsip dasar metode IP adalah dengan menginjeksikan arus listrik ke dalam bumi dan mengamati beda potensial yang masih tersisa setelah aliran arus tersebut dihentikan (Dewi, 2017). Metode ini bertujuan untuk mengukur efek polarisasi yang terjadi di dalam medium akibat pengaruh arus listrik yang mengalir melaluinya. Secara teoritis, beda potensial akan segera menjadi nol setelah arus dihentikan, namun pada kondisi sebenarnya potensial tersebut menurun secara bertahap hingga mencapai nol dalam selang waktu tertentu. Fenomena ini dikenal sebagai *potential decay*. Munculnya potensial tersebut disebabkan oleh adanya proses polarisasi pada medium bawah permukaan (Telford, 1990). Mekanisme pasti yang mengontrol terjadinya polarisasi masih belum sepenuhnya dipahami, namun secara umum terdapat dua proses

elektrokimia yang dianggap berperan, yaitu polarisasi membran dan polarisasi elektroda (Reynolds, 1997).

Nilai *Chargeability* dari masing-masing jenis batuan dapat dilihat pada Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3. Tabel 1 menunjukkan waktu *charging* dan waktu integrasi masing-masing sekitar 1 menit. Tabel 2 menunjukkan nilai-nilai yang diperoleh dengan waktu *charging* dan waktu integrasi yang lebih realistis, masing-masing 3 detik dan 0,02–1,0 detik. Tabel 3 menunjukkan nilai *Chargeability* mineral pada konsentrasi 1% di dalam sampel dengan waktu *charging* dan waktu integrasi sesuai dengan yang tercantum pada Tabel 2.

Tabel 1. Waktu *charging* dan waktu integrasi masing-masing sekitar 1 menit (Telford, 1990).

<i>Material type</i>	<i>Chargeability (msec)</i>
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, Granodiorite	10-50
Limestone, Dolomite	10-20

Tabel 2. Waktu *charging* dan waktu integrasi yang lebih realistis, masing-masing 3 detik dan 0,02–1,0 detik (Telford, 1990).

<i>Material type</i>	<i>Chargeability (msec)</i>
Ground Water	0
Alluvium	1-4
Gravels	3-9
Precambrian Volcanics	8-20
Precambrian Gneisses	6-30

Material type	Chargeability (msec)
<i>Sandstones</i>	3-12
<i>Argilites</i>	3-10
<i>Quartzites</i>	5-12

Tabel 3. Nilai *Chargeability* mineral pada konsentrasi 1% di dalam sampel (Telford, 1990).

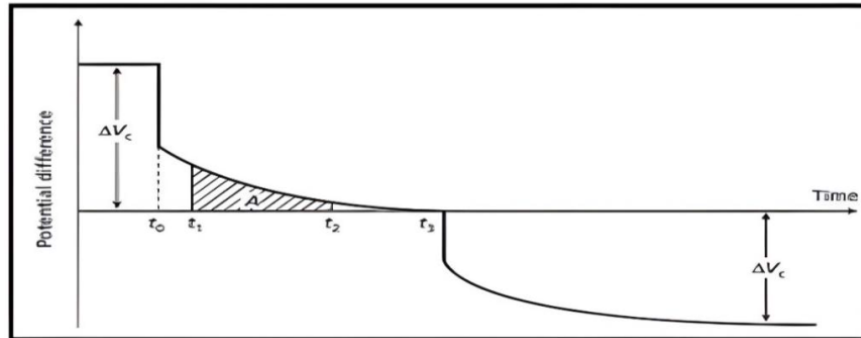
Material type	Chargeability (msec)
<i>Pyrite</i>	13,4
<i>Chalcocite</i>	13,2
<i>Copper</i>	12,3
<i>Graphite</i>	11,2
<i>Chalcopyrite</i>	9,4
<i>Bornite</i>	6,3
<i>Galena</i>	3,7
<i>Magnetite</i>	2,2
<i>Malachite</i>	0,2
<i>Hematite</i>	0,0

3.2.1 Prinsip Dasar Metode *Induced Polarization* (IP)

Efek *Induced Polarization* dapat diilustrasikan dengan menggunakan konfigurasi empat elektroda dalam pengukuran *Resistivity* ketika aliran arus pada elektroda arus dihentikan, maka nilai beda potensial antara kedua elektroda potensial tidak secara langsung bernilai nol melainkan mengalami penurunan secara perlahan-lahan hingga bernilai nol. Fenomena yang sama terjadi ketika arus listrik dinyalakan. Pada keadaan awal, nilai beda potensial meningkat secara perlahan-lahan selama interval waktu tertentu hingga bernilai konstan. Medium yang mengalami efek tersebut dinamakan medium yang dapat terpolarisasi. Efek IP ditunjukkan selama interval waktu penurunan beda potensial sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9.

Pada waktu t_0 arus dihentikan dan diukur beda potensialnya, kemudian terjadi penurunan nilai beda potensial dari keadaan konstan menuju nol secara perlahan-

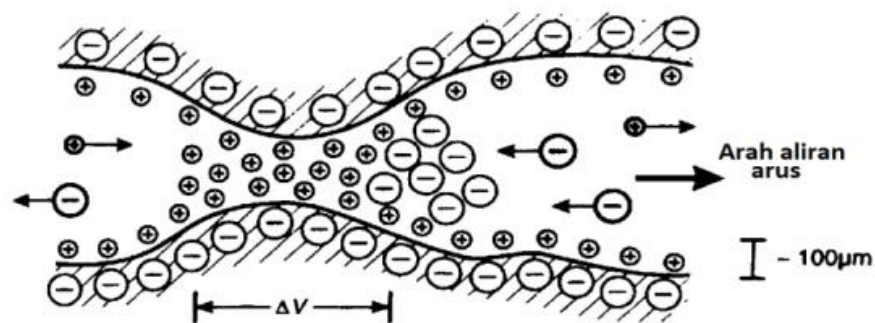
lahan. Tahapan yang sama terjadi pada saat arus dimatikan pada waktu t_3 . A menggambarkan daerah yang di bawah kurva peluruhan pada interval waktu t_1 - t_2 (Kearey dkk., 2002).



Gambar 9. Fenomena Induksi Polarisasi (Kearey dkk., 2002).

3.2.2 Polarisasi Membran

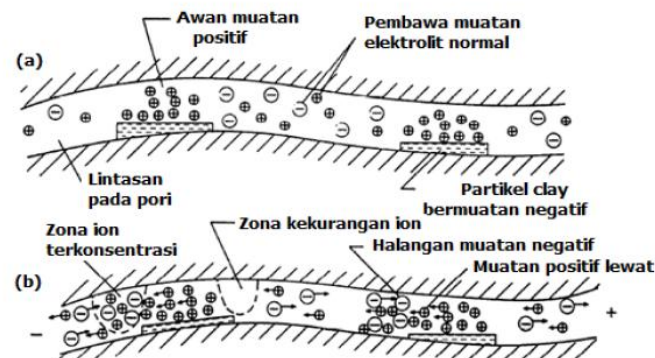
Polarisasi membran disebabkan karena dua hal. Pertama, polarisasi ini muncul karena adanya perbedaan mobilitas pembawa muatan (ion) dalam batuan.



Gambar 10. Polarisasi membran karena penyempitan pada butiran mineral (Reynolds, 1997).

Konduksi elektrolitik merupakan mekanisme konduksi yang paling dominan pada hampir seluruh jenis batuan. Pada kondisi tidak ditemukannya mineral logam, konduksi elektrolitik menjadi satu-satunya bentuk konduksi yang dapat terjadi. Keberadaan pori-pori dalam struktur batuan memungkinkan aliran arus listrik, meskipun batuan tersebut tidak mengandung mineral logam. Sebagian besar batuan memiliki muatan listrik negatif pada bidang kontak antara permukaan butir batuan dan fluida yang mengisi ruang pori. Ion-ion bermuatan positif pada fluida tertarik

dan terkonsentrasi pada zona negatif dan ion-ion negatif akan tertolak. Ion-ion negatif ini terakumulasi pada ujung zona, ketika potensial DC diterapkan (Gambar). Hasil distribusi polarisasi ion-ion mengakibatkan aliran arus terhambat, ketika arus diputus ion-ion membutuhkan waktu untuk kembali keposisi semula (Telford, dkk., 1990).



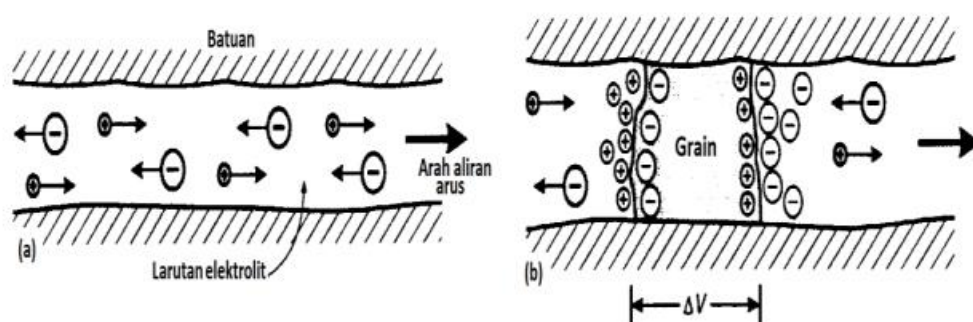
Gambar 11. Polarisasi membran pada batuan (a) sebelum dan (b) setelah dialiri arus listrik (Ward, 1990).

Penyebab kedua adalah karena hadirnya mineral lempung yang bermuatan negatif. Muatan positif yang timbul disekeliling lempung membentuk awan positif dalam ruang pori (Gambar 11). Ketika potensial dipasang maka muatan positif dapat bergerak pada awan muatan positif, sedangkan muatan negatif terkumpul sehingga menghasilkan konsentrasi ionik yang berbeda. Jika potensial dihilangkan maka ion-ion akan kembali dalam keadaan semula dengan proses difusi dan menyebabkan terukurnya respon IP.

3.2.3 Polarisasi Elektroda

Efek ini berkaitan dengan keberadaan mineral logam di dalam batuan dan menjadi kontributor utama terhadap respon yang diukur pada metode *Induced Polarization*. Kehadiran mineral logam dalam batuan berpori yang terisi fluida dapat dianalogikan sebagai sebuah elektroda yang berada di dalam larutan elektrolit. Pada tahap awal, berlangsung proses oksidasi dan reduksi yang menghasilkan perbedaan potensial antara logam dan muatan, yang dikenal sebagai potensial Nernst, tanpa disertai aliran arus listrik. Ketika arus listrik dialirkan ke

dalam sistem, akan terjadi proses elektrolisis dan pengutuban muatan, di mana ion-ion bermuatan negatif bergerak menuju permukaan logam. Laju aliran arus dalam larutan elektrolit lebih lambat dibandingkan dengan aliran arus di dalam logam. Ikatan ion-ion pada permukaan logam akibat adanya tegangan luar selama arus dialirkan disebut sebagai potensial tak reversibel. Setelah arus dihentikan, ion-ion tersebut secara bertahap kembali ke kondisi awal melalui proses difusi. Proses pemulihan inilah yang menghasilkan respon IP yang terukur (Telford, 1990).



Gambar 12. Polarisasi elektroda pada batuan (a) tidak ada mineral logam dan (b) ada mineral logam (Telford, 1990)

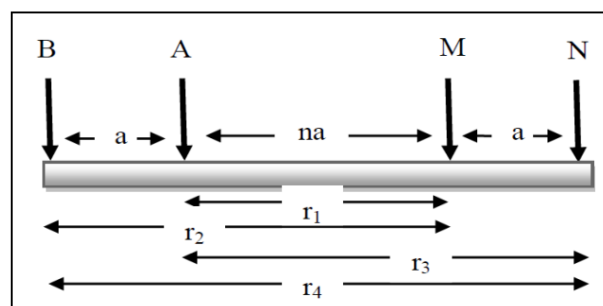
3.3 Konfigurasi Dipole-Dipole

Konfigurasi dipole-dipole merupakan salah satu susunan elektroda yang paling umum dan efektif digunakan dalam survei geolistrik untuk metode *Resistivity* dan *Induced Polarization*, khususnya dalam eksplorasi mineral emas. Dalam konfigurasi ini, dua elektroda arus (A dan B) dipasang membentuk satu dipol sebagai sumber arus listrik, sedangkan dua elektroda potensial (M dan N) membentuk dipol pengukuran yang diletakkan pada jarak tertentu dari dipol arus. Jarak antara dipol arus dan dipol potensial biasanya merupakan kelipatan dari panjang dipol itu sendiri, yang disebut sebagai faktor spasi (n), misalnya $n = 1, 2, 3$, dan seterusnya. Variasi spasi ini memungkinkan investigasi ke berbagai kedalaman bawah permukaan (Telford et al., 1990).

Konfigurasi dipole-dipole dikenal memiliki resolusi lateral yang tinggi, sehingga sangat cocok untuk mendeteksi perubahan geologi lateral seperti keberadaan urat kuarsa, zona rekahan, atau jalur alterasi hidrotermal yang sering menjadi jalur pengendapan emas. Metode ini juga mampu mengidentifikasi zona

Resistivity rendah yang mungkin merupakan zona lempung hasil alterasi, serta zona dengan nilai *Chargeability* tinggi yang mengindikasikan keberadaan mineral sulfida seperti pirit dan kalkopirit, yang sering berasosiasi dengan mineralisasi emas (Reynolds, 2011). Keunggulan lainnya adalah fleksibilitas penggunaan di medan yang sulit seperti daerah bergunung atau berhutan, yang umum pada area prospek emas (Sharma, 1997).

Dalam praktiknya, data *Resistivity* digunakan untuk memetakan variasi litologi dan zona alterasi, sedangkan data dari *Induced Polarization* digunakan untuk mendeteksi akumulasi mineral bermuatan, khususnya sulfida tersebar yang tidak selalu memberikan respons signifikan pada metode geofisika lain seperti magnetik. Kombinasi anomali *Resistivity* rendah dan *Chargeability* tinggi sering dijadikan indikasi target pengeboran dalam eksplorasi emas. Penggunaan konfigurasi dipole-dipole telah terbukti efektif dalam berbagai proyek eksplorasi emas, baik pada sistem epitermal maupun porfiri (Telford et al., 1990).

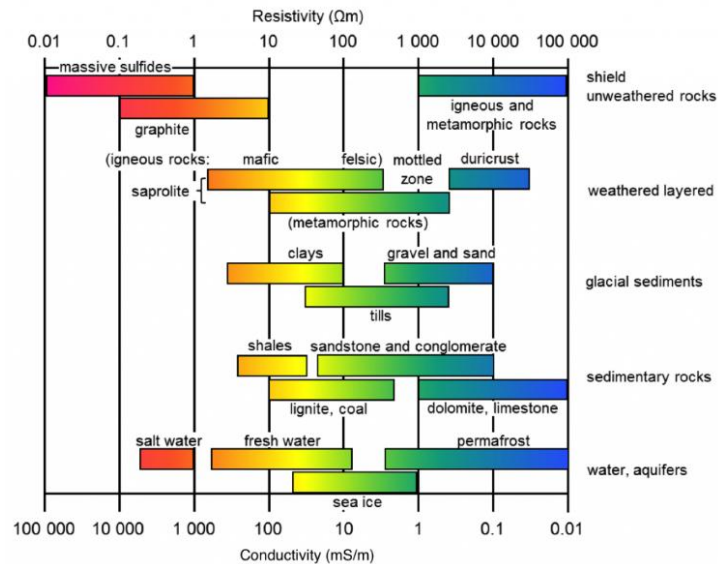


Gambar 13. Skema konfigurasi dipole-dipole (Telford, 1990)

3.4 *Resistivity* Batuan

Material yang terdapat di bumi memiliki nilai konduktivitas dan nilai *Resistivity* yang berbeda-beda Gambar 14. Hubungan antara nilai *Conductivity* dengan nilai *Resistivity* saling berkebalikan, apabila nilai *Resistivity* tinggi maka kebalikannya nilai *Resistivity* akan rendah. *Conductivity* dan *Resistivity* suatu batuan umumnya bergantung pada interkoneksi dari struktur batuan penyusunnya dan kandungan mineral atau fluida pada interkoneksi tersebut. Oleh sebab itu nilai *Resistivity* suatu batuan berebeda-beda tergantung dari niali *Resistivity* bahan

penyusunnya. Gambar 14 menunjukkan nilai *Resistivity* beberapa materi (Griffith, 1999).



Gambar 14. Diagram hubungan antara *Resistivity* (Ωm) dan konduktivitas (mS/m) dari berbagai jenis material geologi (Ward, 1990).

Tabel 4. Nilai *Resistivity* beberapa material (Modifikasi Telford, 1990).

Material	Nilai <i>Resistivity</i>
Conductors:	
<i>Silver</i>	$1,59 \times 10^{-8}$
<i>Copper</i>	$1,68 \times 10^{-8}$
<i>Gold</i>	$2,21 \times 10^{-8}$
<i>Aluminium</i>	$2,65 \times 10^{-8}$
<i>Iron</i>	$9,61 \times 10^{-8}$
<i>Mercury</i>	$9,58 \times 10^{-7}$
<i>Nichrome</i>	$1,00 \times 10^{-6}$
<i>Maganese</i>	$1,44 \times 10^{-6}$
<i>Graphite</i>	$1,4 \times 10^{-5}$
Semiconductors:	
<i>Salt Water</i>	$4,4 \times 10^{-2}$
<i>Germanium</i>	$4,6 \times 10^{-1}$

Semiconductors:	
<i>Diamond</i>	2,7
<i>Silicon</i>	$2,5 \times 10^3$
Insulator:	
<i>Water (Pure)</i>	$2,5 \times 10^5$
<i>Wood</i>	$10^8 - 10^{11}$
<i>Glass</i>	$10^{10} - 10^{14}$
<i>Quartz (fused)</i>	$\sim 10^{16}$

Tabel 5. Nilai *Resistivity Ore Mineral* (Modifikasi Telford, 1990).

Ore Minerals	Nilai Resistivity (Ohm-meter)
<i>Pyrrhotite</i>	0,001 – 0,01
<i>Galena</i>	0,001 – 100
<i>Cassiterite</i>	1,001 – 10.000
<i>Chalcophyrite</i>	0,05 – 0,1
<i>Phyrite</i>	0,01 – 100
<i>Magnetite</i>	0,01 – 1.000
<i>Hematite</i>	0,01 – 1.000.000
<i>Sphalerite</i>	$1,00 \times 10^{-6}$

Tabel 6. Nilai *Resistivity* batuan hasil alterasi (Modifikasi Telford, 1990).

Jenis Material	Resistivity
<i>Clay, Argilik</i>	Rendah
Kuarsa, Batuan Segar, Silifikasi, Gamping	Tinggi

Tabel 7. Nilai *Resistivity* batuan hasil alterasi (Modifikasi Telford, 1990).

Common Rocks	Nilai Resistivity (Ohm-meter)
<i>Clay</i>	1 – 100
<i>Graphitic Schist</i>	10 – 500

<i>Common Rocks</i>	<i>Nilai Resistivity (Ohm-meter)</i>
<i>Topsoil</i>	50 – 10
<i>Gravel</i>	100- 600
<i>Weathered Bedrock</i>	100- 1.000
<i>Gabbro</i>	100 – 500.000
<i>Sandstone</i>	200 – 8.000
<i>Granite</i>	200 – 100.000
<i>Basalt</i>	200 – 100.000
<i>Limestone</i>	500 – 10.000
<i>Slate</i>	500 -500.000
<i>Quartzite</i>	500 – 800.000
<i>Greenstone</i>	500 – 200.000

3.5 Genesa Emas

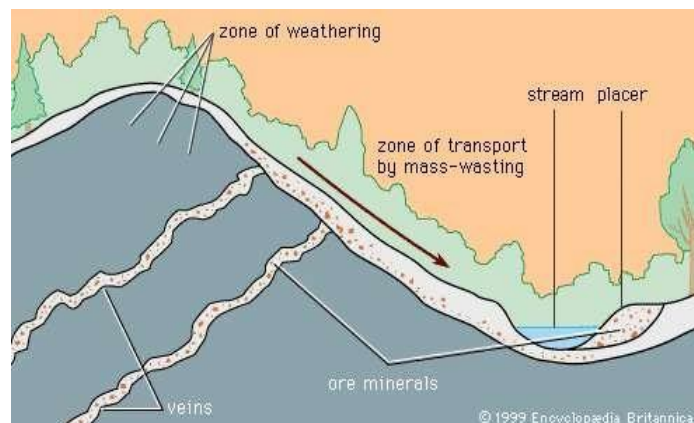
Emas merupakan mineral berharga yang bersifat lunak dan mudah ditempa, kekerasannya berkisar antara 2,5-3 skala Mohs. Mineral pembawa emas biasanya berasosiasi dengan mineral ikutan (*gangue minerals*). Emas di alam ditemukan dalam dua tipe, yaitu endapan primer dan endapan sekunder.

3.6.1 Endapan Primer

Endapan emas primer terbentuk akibat adanya proses *magmatism*. Proses *magmatism* ini akan menghasilkan konsentrasi kejenuhan magma yang bercampur dengan batuan dinding pada penurunan suhu tertentu sehingga menghasilkan mineral-mineral logam khususnya mineral pembawa emas (unsur Au).

3.6.2 Endapan Sekunder

Endapan emas sekunder terbentuk akibat proses oksidasi dan sirkulasi air yang terjadi pada endapan emas primer. Proses tersebut dapat menyebabkan terlepasnya mineral emas dan terendapkan kembali pada rongga-rongga batuan atau pori batuan. Butiran-butiran emas pada endapan sekunder cenderung lebih besar dibandingkan dengan butiran endapan primer.



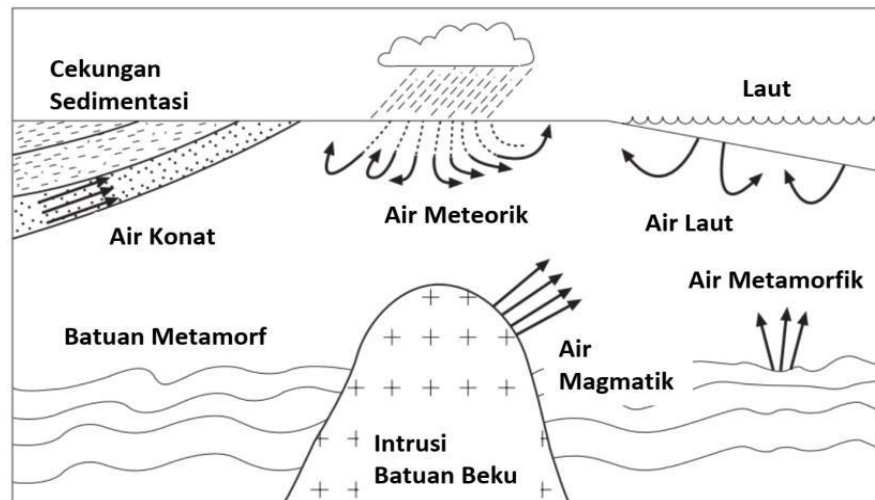
Gambar 15. Proses pembentukan emas sekunder (Corbett dan Leach, 1998).

Proses erosi yang terjadi pada endapan emas primer menghasilkan endapan emas *placer*/aluvial. Endapan ini dapat dijumpai berupa tanah dari batuan asal yang sudah lapuk, endapan *fluviatile*, dan endapan pantai. Endapan sekunder sedniri biasa dijumpai pada endapan epitermal dengan sulfida rendah salah satunya terdapat pada endapan epitermal sulfida rendah yang berada di Gosowong, Halmahera Utara yang mana daerah ini menjadi daerah penelitian penulis. Sehingga pada penelitian ini ditujukan untuk mengidentifikasi endapan sekunder pada daerah penelitian.

3.6 Mineralisasi Hidrotermal

Mineralisasi adalah proses terbentuknya mineral-mineral di dalam bumi yang berkaitan erat dengan aktivitas magmatik. Mineral-mineral yang terlarut pada kondisi suhu tinggi terdorong oleh tekanan hidrotermal, kemudian mengalir melalui zona-zona lemah dan mengalami pengendapan pada struktur batuan ketika temperatur sistem tersebut menurun. Proses mineralisasi dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, antara lain keberadaan fluida hidrotermal yang berperan sebagai media pembawa mineral, adanya permeabilitas atau zona lemah yang berfungsi sebagai jalur aliran fluida hidrotermal, tersedianya ruang untuk terjadinya pengendapan larutan hidrotermal, berlangsungnya reaksi kimia yang memungkinkan presipitasi mineral, serta konsentrasi larutan yang cukup tinggi untuk mengendapkan mineral. Secara umum, fluida pembawa bijih atau fluida

hidrotermal dapat diklasifikasikan ke dalam lima jenis, yaitu fluida magmatik, fluida meteorik, air laut, *connate water*, dan fluida metamorfik.



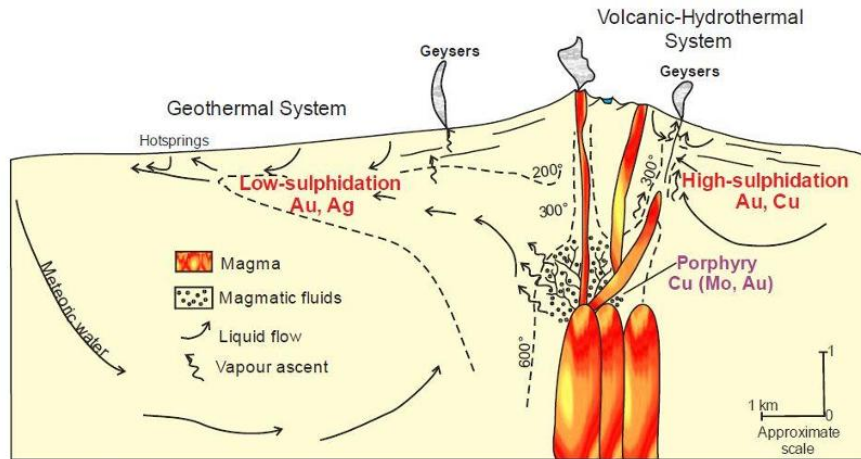
Gambar 16. Fluida hidrotermal (Robb, 2005)

3.6.1 Proses Hidrotermal

Hidrotermal merupakan sebuah proses yang erat kaitannya dengan pembentukan endapan mineral logam. Sistem hidrotermal dapat didefinisikan sebagai sirkulasi fluida panas (50° sampai $>500^{\circ}\text{C}$), secara lateral dan vertikal pada temperatur dan tekanan yang bervariasi, di bawah permukaan bumi (Pirajno, 1992). Emas primer terbentuk sebagai hasil dari aktivitas magmatisme, di mana proses tersebut menyebabkan terjadinya kejenuhan magma yang kemudian berinteraksi dengan batuan dinding pada kondisi penurunan temperatur tertentu, sehingga menghasilkan pembentukan mineral-mineral logam, khususnya mineral yang mengandung emas (Au). Interaksi dan proses pemekatan antara magma dan batuan dinding ini dikenal sebagai proses hidrotermal.

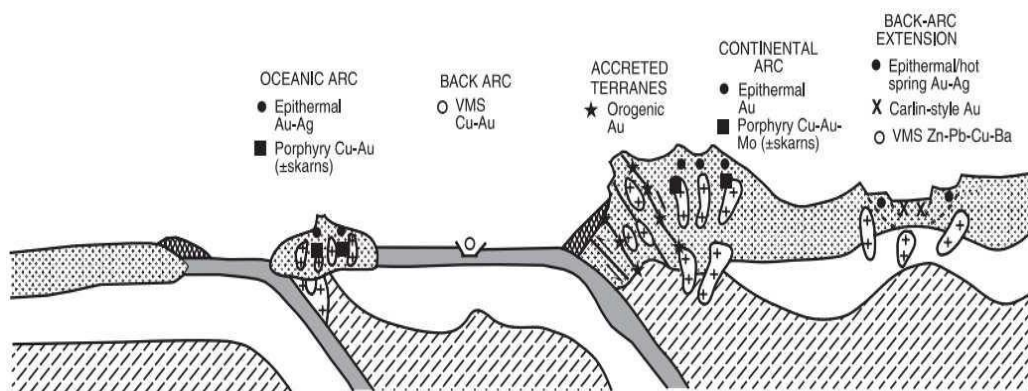
Fluida hidrotermal pada umumnya berkaitan dengan aktivitas magmatik, tetapi juga dapat berasal dari air meteorik, air connate, maupun air yang kaya mineral yang terbentuk selama proses metamorfisme dan selanjutnya mengalami pemanasan di dalam bumi (Bateman dkk., 1981). Larutan hidrotermal adalah cairan bertemperatur tinggi (100 sampai 500°C) sisa pendinginan magma yang mampu merubah dan membentuk mineral-mineral tertentu. Secara umum cairan sisa

kristalisasi magma tersebut bersifat silika yang kaya alumina, alkali dan alkali tanah, mengandung air dan unsur-unsur volatil (Bateman dkk., 1991).



Gambar 17. Sistem endapan mineral hidrotermal (Corbett dan Leach, 1998).

Fluida hidrotermal terbentuk pada tahap akhir proses pembekuan magma dan umumnya terakumulasi pada satuan batuan yang memiliki permeabilitas tinggi atau berada pada zona-zona lemah. Interaksi antara fluida hidrotermal dan batuan yang dilewatinya (*wall rock*) menyebabkan terjadinya perubahan Mineral primer mengalami perubahan menjadi mineral sekunder yang disebut sebagai mineral alterasi. Proses perubahan ini terjadi karena kecenderungan mineral dalam batuan untuk membentuk mineral baru guna mencapai kondisi kesetimbangan, seiring dengan perubahan lingkungan berupa pH dan temperatur.



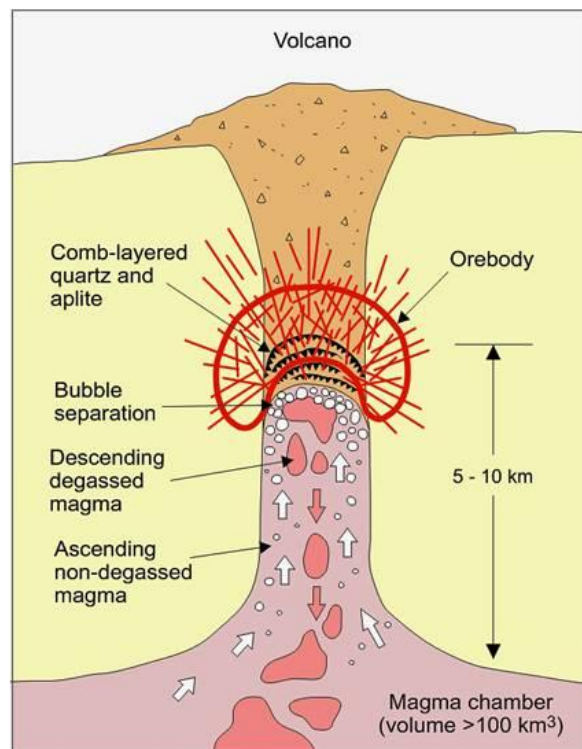
Gambar 18. Endapan mineral logam yang terbentuk oleh proses hidrotermal (Pirajno, 2009)

Endapan mineral sistem hidrotermal berdasarkan temperatur dan kedalaman dibagi menjadi 3 yaitu endapan *hypothermal*, endapan *mesothermal*, dan endapan epitermal.

3.6.2 Endapan *Hypothermal*

Endapan *hypothermal* adalah endapan yang terbentuk pada wilayah yang cukup dalam (3000-15000 m) dan tekanan tinggi serta temperatur berkisar antara 300 hingga 500°C. Endapan ini merupakan endapan urat (*vein*) dan penggantian (*replacement*), kecuali endapan metamorfisme kontak yang terbentuk pada temperatur dan tekanan tinggi.

Asosiasi mineral yang umum ditemukan pada endapan *hypothermal* antara lain, *Cassiterite*, *wolframite*, *molybdenum*, urat emas-kuarsa, urat tembaga turmalin, dan urat timbal-turmalin. Logam yang dapat diekstraksi dari endapan *hypothermal* terdiri dari tembaga (Cu), *molybdenum* (Mo), timah (Sn), tungsten (W), emas (Au), dan timah (tn).



Gambar 19. Keberadaan endapan *hypothermal* (Corbett dan Leach, 1998).

Endapan ini terbentuk di dekat daerah intrusi batuan dengan dimana endapan ini biasanya muncul oleh proses erosi. Endapan ini umumnya berbentuk *permatitic dyke*, endapan metamorfik kontak, *deep seated vein*, dan *porphyry copper*.

3.6.3 Endapan Mesothermal

Endapan *mesothermal* adalah endapan *metalliferous* yang terbentuk pada kedalaman bekisar 4.000 meter sampai 12.000 meter serta temperatur berkisar 175°C - 300°C. Endapan ini terletak agak jauh dari tubuh intrusi, maka sumber panas yang utama berasal dari fluida panas yang bergerak naik dari lokasi intrusi menuju lokasi terbentuknya endapan ini. Fluida tersebut berasal dari *meteorik water* yang masuk menuju lokasi intrusi dan mengalami pemanasan yang selanjutnya naik menuju lokasi endapan mesotermal.

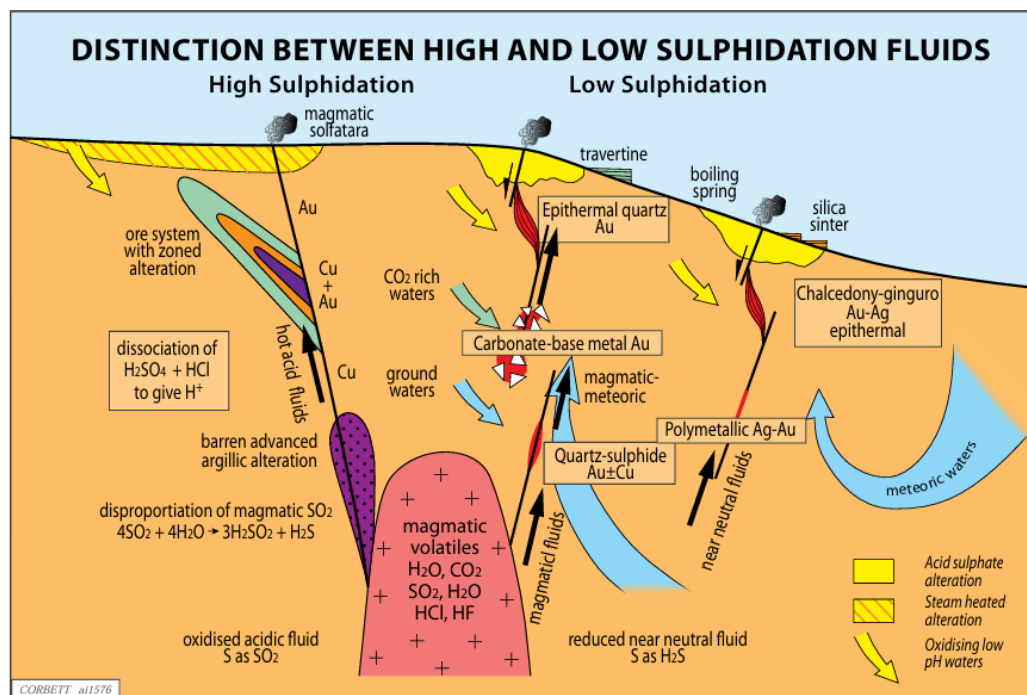
Logam utama yang terdapat pada endapan ini antara lain emas, perak, tembaga, seng dan timbal. Mineral bijih yang ditemukan berupa sulfida, arsenida, sulfantimonida, dan sulfarsenida. Pirit, kalkopirit, sfalerit, galena, tetrahedrit, dan tentalit serta emas stabil merupakan mineral bijih yang paling banyak ditemukan.

Endapan ini dicirikan oleh endapan tipe pengikisan rongga, penggantian dan pengkayaan supergen (*supergene enrichment*). Adapun ciri lain adalah memiliki struktur breksiasi jika terbentuk dekat permukaan, maupun bentuk lentikular dan rekahan tak beraturan jika terbentuk lebih dalam. Umumnya bentuk-bentuk urat mengikuti *lamphropic dike*, yang umumnya merupakan manifestasi akhir dari aktivitas batuan beku. Selain itu pada endapan ini dicirikan oleh banyaknya *slickenside*.

3.6.4 Endapan Epithermal

Sistem epitermal merupakan salah satu sistem pengendapan mineral. Endapan epitermal merupakan endapan *metalliferous* yang terbentuk di dekat permukaan oleh fluida termal yang bergerak naik dan berhubungan dengan batuan beku. Endapan ini terletak paling jauh dengan tubuh intrusi, dengan temperatur pembentukan antara 50° hingga 200°C dan dicirikan oleh endapan tipe pengisian rongga (*cavity filling*) terutama dalam bentuk *fissure vein*. Struktur yang dijumpai

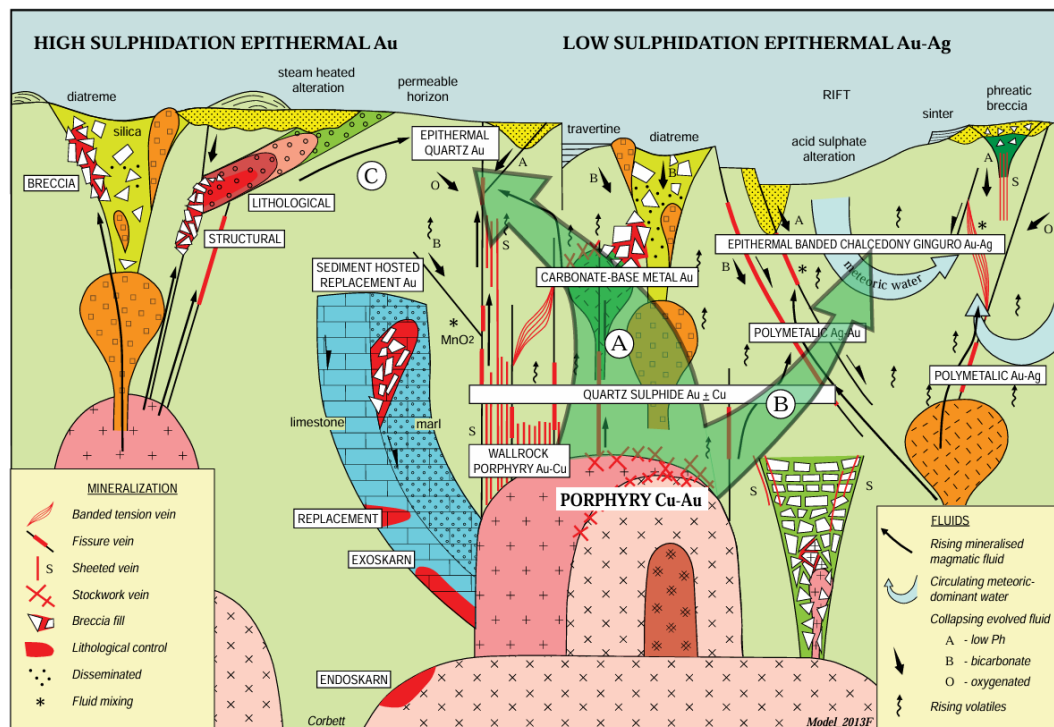
pada endapan ini berupa struktur *open cavity*, pengisian (*filling*), *crustification* dan *comb*. Kenampakan urat berupa *slitting*, *chambering* dan breksiasi. Endapan epitermal sering juga disebut endapan urat, *stockwork*, *hot spring*, *volcanic hosted* dan lain-lain.



Gambar 20. Model endapan porfiri dengan endapan epitermal (Corbett dan Leach, 1998)

Endapan epitermal umumnya terbentuk pada batuan induk berupa batuan-batuan vulkanik, antara lain batuan piroklastik subaerial dan batuan sedimen vulkanik yang umumnya relatif sama. Jenis batuan yang sering dijumpai adalah andesit, riolit, serta dasit yang mempunyai afinitas kal-alkali, sangat jarang dijumpai endapan epitermal yang berasosiasi dengan batuan beku yang mempunyai afinitas alkalin maupun shosonit (Parulian, 2008).

White dan Hedenquist (1995) membagi sistem epitermal menjadi dua tipe yang dibedakan berdasarkan sifat kimia fluidanya yaitu fluida rendah (*low sulphidation*) dan fluida tinggi (*high sulphidation*). Pembagian tersebut juga dapat berdasarkan alterasi dan mineraloginya sehingga terkadang dua tipe ini disebut sebagai tipe *acid sulfate* untuk sulfida tinggi dan *adularia sericite* untuk sulfida rendah. Gambar di bawah ini menunjukkan gambaran umum dari sistem epitermal.



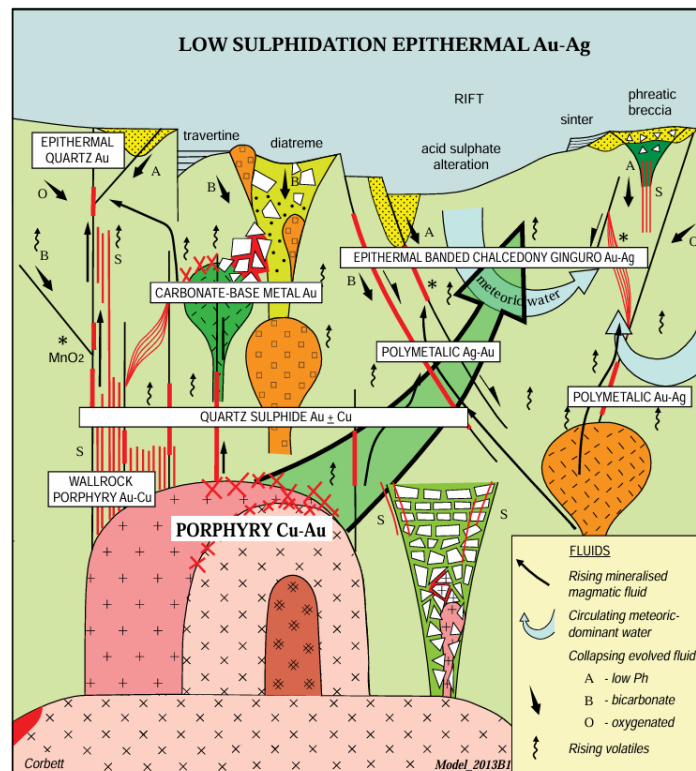
Gambar 21. Model konseptual mineralisasi emas (Corbett dan Leach, 1998).

Tipe epitermal sulfida rendah umumnya dicirikan oleh rasio emas terhadap perak yang relatif tinggi. Kehadiran mineral adularia merupakan produk alterasi khas yang hanya ditemukan pada sistem sulfida rendah. Batuan dinding yang berkembang pada tipe ini umumnya tersusun atas batuan berafinitas kal-alkalin, seperti andesit kalk-alkalin kalsik, riolit, dasit, dan riodasit. Sementara itu, sistem epitermal sulfida tinggi ditandai oleh asosiasi mineral luzonit–enargit serta berkembangnya alterasi bertipe argilik.

3.6.5 Epithermal Low Sulphidation

Epitermal *low sulphidation* umumnya terbentuk jauh dari tubuh intrusi dan terbentuk melalui larutan sisa magma yang berpindah jauh dari sumbernya kemudian bercampur dengan air meteorik di dekat permukaan dan membentuk jebakan tipe sulfida rendah, dipengaruhi oleh sistem *boiling* (pendidihan) sebagai mekanisme pengendapan mineral- mineral bijih. Proses *boiling* disertai pelepasan unsur gas merupakan proses utama untuk pengendapan emas sebagai respon atas turunnya tekanan. Perulangan proses *boiling* akan tercermin dari tekstur *crusiform*

dari silika dalam urat kuarsa. Pembentukan jebakan urat kuarsa berkadar tinggi mensyaratkan pelepasan tekanan secara tiba-tiba dari cairan hidrotermal untuk memungkinkan proses *boiling*. Sistem ini terbentuk pada tektonik lempeng subduksi dan pemekaran.



Gambar 22. Model konseptual *epitermal low sulfidation* (Corbett dan Leach, 1998).

Pada endapan ini pH mendekati netral dan fluida mengalami proses reduksi sehingga membentuk mineral sulfida rendah. Kontrol utama terhadap pH cairan adalah konsentrasi CO_2 dalam larutan dan salinitas. Proses *boiling* dan terlepasnya CO_2 ke fase uap mengakibatkan kenaikan pH, sehingga terjadi perubahan stabilitas mineral contohnya dari illit ke adularia. Terlepasnya CO_2 menyebabkan terbentuknya kalsit, sehingga umumnya dijumpai *adularia* dan *bladed calcite* sebagai mineral pengotor (*gangue minerals*) pada urat bijih sistem sulfida rendah. Endapan epitermal sulfida rendah akan berasosiasi dengan alterasi kuarsa–adularia, karbonat dan serisit pada lingkungan sulfur. Larutan bijih dari sistem sulfida rendah

bersifat alkali hingga netral yaitu pH=7 dengan kadar garam rendah sekitar 0-6 wt% NaCl, memiliki komposisi CO₂ dan CH₄ yang bervariasi.

Pada mineralogi bijih endapan epithermal sulfida rendah banyak terdapat mineral spalerit dan arsenopirit. Namun, mineral ini jarang ditemukan pada endapan sulfida tinggi. Adularia dan kalsit merupakan mineral yang mengindikasikan kondisi pH mendekati netral yang mana umum dijumpai pada endapan epithermal sulfida rendah dan tidak ditemui pada sulfida tinggi. Mineral yang dibentuk pada kondisi dibawah asam seperti kaolinit dan alunit termasuk piropilit, diaspora dan P-, Sr-, Pb-, dan REE-fosfat-mineral sulfat sedikit dijumpai pada endapan epithermal sulfida rendah tetapi banyak dijumpai pada endapan sulfida tinggi.

Batuan sampling (*wallrock*) pada endapan epitermal sulfidasi rendah adalah andesit alkali, riadasit, dasit, riolit ataupun batuan – batuan alkali. Riolit sering hadir pada sistem sulfida rendah dengan variasi jenis silika rendah sampai tinggi. Bentuk endapan didominasi oleh urat-urat kuarsa yang mengisi ruang terbuka (*open space*), tersebar (*disseminated*), dan umumnya terdiri dari urat-urat breksi. Struktur yang berkembang pada sistem sulfida rendah berupa urat, *cavity filling*, urat breksi, tekstur *colloform*, dan sedikit *vuggy* (Corbett dan Leach, 1996). Menurut Thompson dan Thompson (1996) membagi tipe alterasi untuk endapan epitermal sulfidasi rendah (*low sulphidation*) menjadi 6 tipe alterasi dengan beberapa zona himpunan mineral dan mineral kuncinya. Enam tipe alterasi yaitu silisik-adularia, serisitik, argilik, argilik lanjut-asam sulfat, silika- karbonat, propilitik-alterasi zeolitik.

Pada endapan epitermal sulfida rendah, keberadaan urat adalah salah satu aspek penting. Tekstur dan morfologi dari urat sangat bermanfaat untuk menentukan kondisi dan tipe mineralisasi. Morfologi urat meliputi arah dan kemiringan lapisan, panjang, lebar, kelurusan, *branching*, serta hubungan dengan urat lainya. Tekstur urat terdiri dari berbagai macam namun secara genetis dibagi menjadi tekstur primer, tekstur rekristalisasi dan tekstur penggantian. Pada urat tersebut juga umum didapatkan endapan mineral bijih yang ekonomis. Endapan tersebut dipengaruhi oleh kehadiran larutan hidrotermal.

Tabel 8. Karakteristik himpunan mineral alterasi *low-sulphidation epithermal* (Modifikasi Thompson dan Thompson 1996).

Kumpulan Mineral	Terminologi	Lingkungan Pembentukan
Kuarsa, kalsedon, opal, pirit, hematit	<i>Silisik</i>	Penggantian total dari batuan oleh mineral silika. Muncul dalam sistem geotermal dan epitermal sebagai alterasi batuan dinding disekitar rekahan dan urat atau dalam zona permeabel, biasanya tidak begitu dalam. Juga dapat terbentuk sebagai selimut seperti suatu zona penggantian pada muka air tanah
Ortoklas (“adularia”), kuarsa, serisit-illit, pirit	Adularia	Terbentuk dari alterasi batuan dinding disekitar urat, rekahan atau zona permeabel. Biasanya merupakan hasil dari penggantian plagioklas dari alterasi yang tertutup. Sering terbentuk pada kedalaman dangkal hingga sedang pada sistem epitermal dan geotermal.
Serisit (muskovit), illit-smektit, kaolinit, monmorilonit, kuarsa, kalsit, dolomit, pirit	Serisitik, argilik	Muncul sebagai alterasi batuan dinding disekitar urat dan zona penggantian pada batuan yang permeabel. Dapat menunjukkan progresi dari serisitik hingga lempung berlapis dengan jarak yang semakin jauh.

Kumpulan Mineral	Terminologi	Lingkungan Pembentukan
Kaolinit, alunit, kristobalit (opal, kalsedon), sulfur, jarosit, pirit	Argilik lanjut – asam sulfat	Terbentuk secara ekstensif diatas muka air tanah (<i>paleowater</i>) yang berhubungan dengan kondensasi dan oksidasi dari gas (H ₂ S).
Kuarsa, kalsit	Silika – Karbonat	Penggantian dari batuan ultramafik di daerah dangkal, suhu rendah pada sistem geotermal.
Kalsit, epidot, wairakit, klorit, albit, illit-skemtit, pirit, monmorilonit.	Propilitik, alterasi zeolitik	Muncul sebagai zona alterasi regional yang ekstensif dalam sistem. Perubahan mineralogi yang terbentuk dari zeolit hingga propilitik menunjukkan peningkatan kedalaman dan suhu.

IV. METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Adapun waktu dan tempat dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

Waktu : 5 Mei – 5 Juni 2025

Tempat : Kantor PT. Puncakbaru Jayatama dan Laboratorium Geofisika Eksplorasi, Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung

Alamat : Jl. Pluit Utara Raya No.53-55, Pluit, Kec. Penjaringan, Jakarta Utara, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 14450 dan Gedung Teknik Geofisika, Universitas Lampung, Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No. 1, Gedong Meneng, Kec. Rajabasa, Kota Bandar Lampung, Lampung 35142

4.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

Tabel 10. Alat dan bahan penelitian

No	Alat	Fungsi
1	Laptop	<i>Hardware</i> untuk melakukan <i>processing</i> data dan penyusunan laporan
2	<i>Microsoft Word</i>	<i>Software</i> untuk melakukan penyusunan laporan
3	<i>Microsoft Excel</i>	<i>Software</i> untuk melakukan konversi format data
4	<i>Zonge TS2DIP</i>	<i>Software</i> yang digunakan untuk inversi data <i>Resistivity</i> dan <i>Chargeability</i> dalam membuat penampang 2D dengan menggunakan <i>dongle</i> .
5	<i>Oasis Montaj</i>	<i>Software</i> untuk pengolahan data <i>Resistivity</i> dan <i>Chargeability</i> dalam membuat model 3D

No	Bahan	Fungsi
1	Data <i>Resistivity</i> dan <i>Chargeability</i>	Data <i>Resistivity</i> dan <i>Chargeability</i> yang digunakan pada penelitian ini merupakan data sekunder lalu dilakukan pengolahan inversi untuk mendapatkan penampang 2D yang kemudian dilakukan <i>export</i> ke dalam format .csv
2	Koordinat Pengukuran	Data posisi geografis dari titik-titik pengukuran (<i>soundings</i>) di lapangan dimana membentuk lintasan (<i>line</i>) yang dijadikan basis untuk inversi 2D.
3	Data Geologi	Data geologi digunakan sebagai penunjang dalam menginterpretasikan anomali <i>Resistivity</i> dan <i>Chargeability</i> yang dihasilkan dari penampang

4.3 Prosedur Penelitian

Prosedur yang digunakan untuk melaksanakan tugas akhir pengolahan ini dibagi dalam beberapa bagian antara lain sebagai berikut:

4.3.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan pada tahapan awal hingga akhir untuk mengumpulkan data dan informasi yang digunakan untuk membantu penelitian ini dimana studi literatur yang dilakukan yaitu studi mengenai geologi, stratigrafi daerah penelitian, dan penelitian-penelitian terdahulu. Penulis juga mempelajari setiap alur konsep dasar dan proses pada interpretasi data *Resistivity* dan *Chargeability*.

4.3.2 Quality Control (QC) Data

Tahapan QC data dilakukan untuk mengecek mengecek kesesuaian data serta ketersediaan data untuk keperluan proses pengolahan. Dimana QC data ini dibutuhkan dalam proses pengolahan hingga interpretasi zona mineralisasi emas. Data yang digunakan dalam penelitian merupakan data sekunder hasil pengukuran *Resistivity* dan IP oleh PT. Puncakbaru Jayatama pada Blok Eksplorasi, Daerah Halmahera Utara, Maluku Utara. Data hasil pengukuran di lapangan terdiri dari data *Resistivity* hasil pengukuran *Resistivity* dan IP konfigurasi *Dipole-Dipole* sebanyak 7 lintasan pengukuran.

4.3.3 Pengolahan Inversi 2D

Software yang digunakan untuk membuat penampang inversi 2D adalah *Zonge*. Untuk melakukan pengolahan diperlukan data *Resistivity* dan *Chargeability* beserta lokasi pengukuran serta elevasi pada lintasan pengukuran. Inversi secara matematis menghitung balik dari data yang diukur di lokasi, ukuran, dan kedalaman sumber perubahan IP dan *Resistivity*. Nilai *Resistivity* dan IP dimodifikasi secara berulang hingga nilai yang dihitung sesuai dengan data yang diamati sedekat mungkin, dengan batasan tertentu.

4.3.4 Pemodelan 3D

Hasil inversi yang didapatkan pada *Zonge* di *export* dengan format *.csv* sehingga data hasil *export* tersebut dapat di input kembali untuk mendapatkan permodelan 3D pada *Oasis Montaj*. Parameter yang diinput untuk mendapatkan 3D

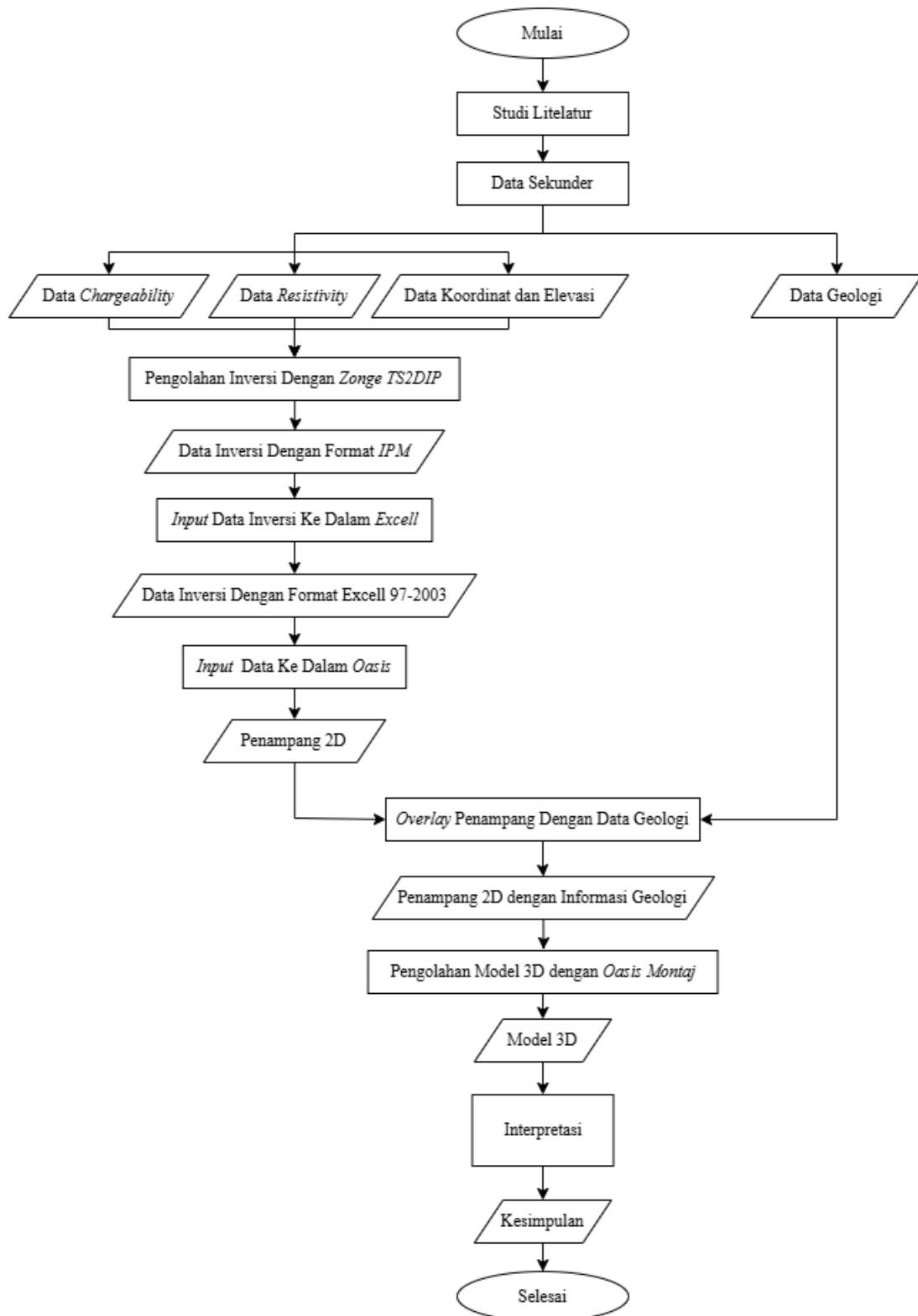
model tersebut adalah X dan Y yang merupakan koordinat lokasi pengukuran, Z adalah nilai elevasi terhadap nilai *resistivity* dan *Chargeability*.

4.4 Interpretasi

Interpretasi pemodelan 3D *Resistivity* dan IP yang dihasilkan melalui pemodelan data di software Oasis Montaj dapat memberikan informasi penting dalam upaya pencarian zona mineralisasi emas, terutama bila dikombinasikan dengan data geologi regional sebagai penunjang. Dalam konteks eksplorasi mineralisasi emas, model 3D *Resistivity* sering kali melihat geologi bawah permukaan berupa struktur, litologi dan cebakan mineralisasi yang biasanya merupakan kondisi yang umum pada sistem epitermal. Sementara itu, nilai *Chargeability* menunjukkan akumulasi mineral sulfida yang sering kali berasosiasi erat dengan mineralisasi emas, terutama dalam sistem epithermal *low sulfidation*.

Dalam proses interpretasi, penampang-penampang vertikal dan horizontal dari model 3D dianalisis untuk mengidentifikasi tumpang tindih antara anomali *Chargeability* tinggi dan zona *Resistivity* rendah, yang dapat mengindikasikan keberadaan zona mineralisasi. Zona-zona ini kemudian diinterpretasikan untuk mengetahui zona sesar, zona rekahan, atau batas litologi yang telah dipetakan sebelumnya.

4.5 Diagram Alir



Gambar 23. Diagram alir penelitian.

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

1. Identifikasi zona mineralisasi emas pada Lapangan "Arjuna" diidentifikasi berdasarkan nilai *Resistivity* dan *Chargeability*. Berdasarkan nilai *Resistivity* dan *Chargeability* sendiri, zona mineralisasi emas diidentifikasi berada disekitar nilai *Resistivity* rendah ($<60 \Omega m$) dan nilai *Chargeability* tinggi ($>7 \text{ mV/V}$). Yang mana, hal ini menandakan bahwasannya zona mineralisasi terletak di sekitar struktur *mayor* dan *minor* sebagai jalur fluida yang ditandai dengan nilai *Resistivity* rendah ($<60 \Omega m$) dan kemudian diperkuat dengan adanya disemenasi mineral sulfida yang ditandai dengan nilai *Chargeability* tinggi ($>7 \text{ mV/V}$).
2. Respon dari *Resistivity* dipengaruhi oleh keberadaan struktur bawah permukaan yang menandakan adanya sesar atau rekahan yang menjadi jalur fluida utama dalam zona epitermal, sedangkan respon dari *Chargeability* sendiri dipengaruhi oleh adanya disemenasi mineral sulfida yang menyebabkan nilai *Chargeability* meningkat.
3. Integrasi penampang 2D *Resistivity* dan *Chargeability* memperlihatkan disemenasi mineral sulfida yang ditandai dengan nilai nilai *Chargeability* tinggi ($>7 \text{ mV/V}$) yang berada disekitar struktur *minor* serta *mayor* yang ditandai oleh nilai *Resistivity* rendah ($<60 \Omega m$). Dapat disimpulkan bahwa zona mineralisasi emas pada daerah penelitian sangat dipengaruhi oleh keberadaan struktur geologi yang berfungsi sebagai pengontrol fluida yang kemudian menyebabkan disemenasi mineral sulfida. Kemudian, dari model 3D *Resistivity* dan *Chargeability*, memperlihatkan kemenerusan struktur pengontrol serta diseminasi mineral sulfida yang dapat menjadi potensi adanya zona mineralisasi emas.

6.2 Saran

Saran dari penelitian ini yaitu diperlukan data pendukung seperti data sumur sebagai *control* dalam penentuan jenis alterasi dan litologi sebagai validasi untuk melakukan interpretasi. Sehingga didapatkan titik pasti untuk dilakukan *drilling*.

DAFTAR PUSTAKA

- Amri, T., Supriatna, S., & Priyono, B. (1990). *Laporan Penyelidikan Geologi Daerah Halmahera Tengah*. Laporan Internal, Pertamina – Puslitbang Geologi.
- Corbett, G. J., & Leach, T. M. (1998). *Southwest Pacific rim gold-copper systems: Structure, alteration, and mineralization*. Society of Economic Geologists Special Publication No. 6.
- Darman, H., & Sidi, F. H. (Eds.). (2000). *An outline of the geology of Indonesia* (192 hlm.). Indonesian Association of Geologists.
- Hall, R. (1998). The plate tectonics of Cenozoic SE Asia and the distribution of land and sea. In R. Hall & J. D. Holloway (Eds.), *Biogeography and Geological Evolution of SE Asia* (pp. 99–131). Leiden: Backhuys Publishers.
- Hall, R. (2000). Neogene sutures in eastern Indonesia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 18(6), 781–808.
- Hedenquist, J. W., Arribas, A., & Gonzalez-Urien, E. (2000). Exploration for epithermal gold deposits. *Reviews in Economic Geology*, 13, 245–277.
- Koesoemadinata, R. P. (2020). *An introduction into the geology of Indonesia: Part 2 Central Indonesia & Part 3 Eastern Indonesia* (Vol. II, viii + 670 hlm.). Ikatan Alumni Geologi ITB.
- Loke, D. M. (2000). *Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies*. Geotomo Software.
- Loke, M. H. (2004). *Tutorial: 2-D and 3-D Electrical Imaging Surveys*. Geotomo Software.

- Maulia, I. (2023). Identifikasi Potensi Sumber Daya Batuan Andesit Berdasarkan Pendekatan Resistivity Metode Geolistrik 2D Daerah Tanjung Ratu, Katibung, Lampung Selatan. *Skripsi*. Universitas Lampung.
- Mulyasari, R., Gede, I., Darmawan, B., & Haerudin, N. (2021). Perbandingan Konfigurasi Elektroda Metode Geolistrik Resistivity Untuk Identifikasi Litologi dan Bidang Gelincir di Kelurahan Pidada Bandar Lampung. *Journal Online of Physics*, 6(2), 16–23.
- Muraoka, H., Nasution, A., Sulaiman, C., Stimac, J., Wibowo, H. E., Simanjuntak, J., ... & Matsuda, K. (2005). Geology and geothermal systems in the Bajawa volcanic rift zone, Flores, eastern Indonesia. *Proceedings World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey, 24–29 April 2005*, 1509–1514.
- Olberg, D. R., Sutopo, H., & Priyono, B. (1999). Stratigraphic and structural setting of the Gosowong low-sulfidation epithermal Au–Ag deposit, Halmahera, Indonesia. *Newcrest Mining Ltd. Internal Report*.
- Olberg, D. R. (2001). Structural geology and exploration targeting at the Toguraci and Gosowong low-sulfidation epithermal Au–Ag deposits, Halmahera Island, Indonesia. *Newcrest Mining Ltd. Internal Report*.
- Palacky, G. J. (1987). *Resistivity characteristics of geologic targets*. In M. N. Nabighian (Ed.), *Electromagnetic methods in applied geophysics*, 1, (pp. 53–129). Society of Exploration Geophysicists.
- Pelton, W. H., Ward, S. H., Hallof, P. G., Sill, W. R., & Nelson, P. H. (1978). Mineral discrimination and removal of inductive coupling with multifrequency IP. *Geophysics*, 43(3), 588–609.
- Reynolds, A. D. (1999). Dimensions of paralic sandstone bodies. *AAPG Bulletin*, 83.
- Reynolds, J. M. (1997). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. In Sustainability (Switzerland)*, 11(1), John Wiley & Sons.

- Septadi, B., Naufaldi, F., Andradit, F., Widodo, A., & Ismanto, A. (2018). Pemetaan zona bijih emas epitermal sulfidasi rendah menggunakan metode Resistivity 2D dan polarisasi terinduksi. *Jurnal Geosaintek*, 4(1), 19–24.
- Sutisna, K., Suryadi, D., & Santosa, S. (2014). Identifikasi zona mineralisasi emas sistem epitermal sulfida rendah menggunakan metode geolistrik (Resistivity & IP) dan magnetik di daerah Ciparay, Cibaliung. *Jurnal Geosains Terapan*, 20(2), 143–152.
- Sillitoe, R. H. (1993). Epithermal models: Genetic types, geometrical controls and exploration implications. *Geological Association of Canada, Special Paper* 40, 403–417.
- Seigel, H. O. (1959). Mathematical formulation and type curves for induced polarization. *Geophysics*, 24(3), 547–565.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (1990). *Applied Geophysics*. Cambridge University Press.
- Umar, M. S. (2003). Kajian alterasi hidrotermal dan mineralisasi emas pada sistem epitermal sulfidasi rendah di daerah Lebong Tandai, Bengkulu. *Jurnal Geologi Indonesia*, 18(3), 201–212.
- Ward, S. H. (Ed.). (1990). *Geotechnical and environmental geophysics* (Investigations in Geophysics, Vol. 5, Vols. I–III). Society of Exploration Geophysicists.
- Watkinson, I. M., & Hall, R. (2017). Fault systems of the eastern Indonesian triple junction: Evaluation of Quaternary activity and implications for seismic hazards. *Geological Society, London, Special Publications*, 441(1), 71–120.
- Yin, Q., Wang, K., Tan, G., Ji, Y., Yang, H., Chen, H., Sun, Y., Liu, Q., & Sun, T. (2025). Geophysical characteristics of low-sulfide epithermal gold mineralized bodies: A case study of the Alinghe Mining Area on the south bank of the Heilong River in China. *Minerals*, 15(1), 47.