

ANALISIS DIMENSIONALITAS DENGAN TENSOR FASE DAN MODEL 2D SISTEM GEOTERMAL CAMAS PRAIRIE, IDAHO, AMERIKA SERIKAT BERDASARKAN DATA MAGNETOTELURIK

Lita Maharani¹, Andri Yadi Paembonan^{1*}, Selvi Misnia Irawati¹

¹Teknik Geofisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sumatera

e-mail : andri.paembonan@tg.itera.ac.id

Abstrak. Metode geofisika yang umum diaplikasikan dalam eksplorasi geotermal adalah metode Magnetotelurik (MT), yang memanfaatkan gelombang elektromagnetik alami. Pada pengukuran metode Magnetotelurik sering menghasilkan data lapangan yang terpengaruh oleh gangguan atau distorsi, yang dapat mengurangi keakuratan hasil interpretasi struktur di bawah permukaan. Oleh karena itu, untuk mendapatkan hasil yang akurat, diperlukan analisis seperti tensor fase guna mengidentifikasi struktur bawah permukaan yang tidak terpengaruh oleh distorsi galvanik. Hasil analisis di daerah penelitian menunjukkan dominasi dimensionalitas 2D yang mengarah ke Barat Laut-Tenggara dengan arah *strike* N1050E. Model inversi 2D mengungkapkan adanya lapisan resistivitas rendah (1-10 Ωm), yang diduga merupakan zona alterasi yang menjadi batuan penutup. Terdapat juga lapisan dengan nilai resistivitas 10-25 Ωm diduga sebagai lempung pasir (Sandy Clay), dan nilai resistivitas 25-50 Ωm merepresentasikan lapisan pasir. Pada resistivitas 50-70 Ωm , diduga sebagai basal, sementara pada resistivitas tinggi (200-1000 Ωm) diduga sebagai granit yang berperan sebagai reservoir dengan tipe *hot dry rock* di dasar intrusif magma. Terlihat adanya struktur sesar *dextral-normal Pothole* sebagai daerah pelepasan di manifestasi air panas *Barron*.

Kata Kunci: *Geoelectrical Strike*, Inversi 2D, Magnetotelurik, Panas Bumi, Tensor Fase

Abstract. One commonly used method in geophysical surveys for geothermal exploration is the Magnetotelluric (MT) method, which exploits the natural electromagnetic field. However, measurements using the Magnetotelluric method often yield field data influenced by disturbances or distortions, potentially compromising the accuracy of interpreting subsurface structures. Therefore, to achieve precise interpretation results, a phase tensor analysis is necessary to identify subsurface structures unaffected by galvanic distortion. The analysis results in the research area indicate a predominant 2D dimensionality with a Geoelectrical strike direction of N1050E, trending northwest-southeast. The 2D inversion reveals layers with low resistivity (1-10 Ωm), suggesting sedimentary rocks in an alteration zone or clay cap. Layers with resistivity in the range of 10-25 Ωm are presumed to be sandy clay, while those with resistivity between 25-50 Ωm are thought to be sandy layers. Resistivity in the range of 50-70 Ωm is suspected to be basal, whereas high resistivity values (200-1000 Ωm) are attributed to granite, serving as a hot dry rock reservoir at the base of intrusive magma. The presence of a dextral-normal fault structure, identified as the Pothole zone, is observed as a discharge area in Barron's Hot Springs.

Keywords: *Geoelectrical Strike*, 2D Inversion, Magnetotelluric, Geothermal, Phase Tensor

PENDAHULUAN

Panas bumi berasal dari gabungan kata Yunani *geo* berarti bumi dan *therme* berarti panas. Energi termal bumi merujuk pada energi yang diperoleh dari panas yang disimpan di dalam bumi. (Hochstein dkk., 2000). Lokasi penelitian berada di Camas Prairie, Idaho, yang merupakan wilayah di bagian barat Sungai Snake dengan aliran panas tinggi yang terkait dengan jalur hotspot Yellowstone (Shervais dkk., 2016), di mana daerah ini terdapat gradien panas bumi dengan suhu tinggi yaitu memperoleh

72^oC/km. Gradien ini jauh lebih tinggi daripada gradien panas bumi normal yaitu 33^oC/km (Brott & Mitchell, 1976). Daerah Camas Prairie merupakan wilayah dengan potensi sumber daya komersial (misalnya, mampu mendukung pembangkit tenaga listrik 10 MW atau lebih) berdasarkan perkiraan panasnya, permeabilitas, dan keberadaan tudung (*cap*) sedimen yang mengisi cekungan. Fenneman (1917) menempatkan secara fisiografi, wilayah Camas Prairie terletak di wilayah Utara Pegunungan

Rocky, dataran tinggi Columbia, dan wilayah Basin and Range. Dalam hal ini sebagai sistem hidrotermal tipe Basin-and-Range, daerah Camas adalah yang paling cocok untuk studi geofisika. Selain itu, Daerah penelitian ini memiliki struktur yang kompleks terdiri dari sesar dextral-normal (Shervais dkk., 2022).

Pada eksplorasi panas bumi, metode Magnetotelurik (MT) merupakan metode yang banyak digunakan. Metode ini menggunakan medan elektromagnetik (EM) yang berasal dari alam, dikenal sebagai metode pasif. Medan EM tersebut muncul karena proses fisik yang kompleks, menyebabkan spektrum frekuensinya sangat luas (10^{-5} Hz – 10^4 Hz). Frekuensi rendah (< 1 Hz) berasal dari interaksi partikel bermuatan listrik dalam solar wind dengan medan magnetik bumi. Sementara frekuensi tinggi (> 1 Hz) berasal dari aktivitas meteorologi seperti petir (Grandis, 2010).

Secara matematis, prinsip metode Magnetotelurik dijelaskan pada persamaan Maxwell berikut:

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t} \quad (1)$$

$$\nabla \times H = j + \frac{\partial D}{\partial t} \quad (2)$$

$$\nabla \cdot D = q \quad (3)$$

$$\nabla \cdot B = 0 \quad (4)$$

dimana E adalah medan listrik (V/m), B adalah induksi Magnetik (W/m^2 atau T), H adalah medan magnet (A/m), j adalah rapat arus (A/m^2), D adalah perpindahan listrik (C/m^2), dan q adalah rapat muatan listrik (C/m^3) (Telford dkk., 1990).

Selain itu terdapat asumsi bahwa bumi dianggap sebagai suatu lingkungan konduktor, sehingga persamaan difusi medium dapat diaplikasikan pada analisis penetrasi metode Magnetotelurik. Kedalaman penetrasi gelombang elektromagnetik ke dalam tanah, dikenal sebagai skin depth, menunjukkan sejauh mana amplitudo gelombang tersebut menurun menjadi $1/e$ dari amplitudo awalnya. Saat medan elektromagnetik menembus lapisan konduktif, energinya akan semakin hilang seiring kedalaman. Jarak tempuh medan elektromagnetik juga akan menurun sesuai dengan tingkat konduktivitas lapisan yang dilaluinya. Dalam hal ini nilai tahanan jenis dan frekuensi akan

mempengaruhi nilai skin depth sehingga dapat dituliskan pada persamaan sebagai berikut :

$$\delta \approx 503 \sqrt{\frac{\rho}{f}} = 503\sqrt{T\rho} \quad (5)$$

dimana δ merupakan penetrasi kedalaman (m), dan ρ merupakan nilai resistivitas medium homogen (Ωm), f sebagai frekuensi medan (Hz) (Simpson & Bahr, 2005).

Dalam metode Magnetotelurik impedansi secara kompleks dinyatakan sebagai besaran amplitudo dan fasa. Kemudian untuk besaran impedansi dapat dinyatakan dalam bentuk parameter resistivitas dan fasa yang dapat dituliskan pada persamaan berikut:

$$\rho_a = \frac{1}{\omega\mu_0} |Z|^2 \quad (6)$$

$$\varphi = \tan^{-1} \left| \frac{Im(Z)}{Re(Z)} \right| \quad (7)$$

dimana ρ_a adalah resistivitas semu, Z adalah impedansi (Ω), ω adalah frekuensi sudut (rad/s), μ_0 adalah permeabilitas magnetik pada ruang hampa ($4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m), dan φ adalah fase ($^\circ$).

Dalam pemrosesan data MT, salah satu tahapan yang dilakukan adalah dengan analisis tensor fase yang merupakan suatu fasa bilangan kompleks yang diperoleh berdasarkan nilai perbandingan bagian riil (X) dan imajiner (Y). Tensor fase (Φ) pada data Magnetotelurik dijelaskan bahwa distorsi galvanic tidak berpengaruh terhadap analisis tensor fase terdapat pada persamaan berikut:

$$\Phi = X^{-1}Y \quad (8)$$

$$= \begin{pmatrix} \Phi_{11} & \Phi_{12} \\ \Phi_{21} & \Phi_{22} \end{pmatrix} \quad (9)$$

$$= \frac{1}{\det(X)} \begin{pmatrix} X_{22}Y_{11} - X_{12}Y_{21} & X_{22}Y_{12} - X_{12}Y_{22} \\ X_{11}Y_{21} - X_{21}Y_{11} & X_{11}Y_{22} - X_{21}Y_{12} \end{pmatrix} \quad (10)$$

dimana $\det(X) = X_{11}X_{22} - X_{12}X_{21}$.

Berdasarkan analisis tensor fase, diperoleh dimensionalitas dan geoelectrical strike. Geoelectrical strike adalah suatu arah yang mengindikasikan orientasi aliran arus listrik di bawah permukaan bumi, dipengaruhi oleh variasi konduktivitas listrik secara lateral. Dalam konteks sifat dua dimensi dari bawah permukaan, diasumsikan bahwa zona konduktif listrik yang

memanjang di mana arus listrik mengalir sepanjang konduktor ini. Selain itu, *geoelectrical strike* juga memberikan informasi tentang stratifikasi bumi dan struktur dalamnya. Analisis *geoelectrical strike* dapat divisualisasikan dalam bentuk *rose diagram* berupa plot lingkaran yang menunjukkan arah *strike* berdasarkan tensor fase (Caldwell dkk., 2004). Hal ini berhubungan dengan struktur utama daerah penelitian, sehingga dapat dilakukan rotasi ke arah *strike* dominan. Rotasi ini bertujuan untuk menghilangkan pengaruh lingkungan atau instrumen pada sinyal, serta membantu mengatasi bias dan distorsi yang mungkin terjadi pada data, sehingga meningkatkan akurasi dan keandalan interpretasi.

Analisis tensor fase pada data Magnetotelurik menjelaskan bahwa distorsi galvanik tidak mempengaruhi analisis tensor fase. Dalam hal ini tensor fase dapat direpresentasikan dengan bentuk elips dan *skew angle* (β) (Caldwell dkk., 2004), dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$\alpha = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{\Phi_{12} + \Phi_{21}}{\Phi_{11} - \Phi_{22}} \right) \quad (11)$$

$$\beta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{\Phi_{12} - \Phi_{21}}{\Phi_{11} + \Phi_{22}} \right) \quad (12)$$

Inversi yang digunakan pada penelitian ini menggunakan inversi NLCG (*Non-linear Conjugate Gradient*). Inversi ini memanfaatkan algoritma untuk menyederhanakan fungsi objektif (ψ) untuk menghasilkan perubahan parameter model seperti resistivitas (Rodi & Mackie, 2001). Jika suatu model disebut sebagai m , suatu fungsi matematis disebut sebagai F , lalu d merupakan suatu data, maka persamaan model inversi dapat dituliskan sebagai berikut:

$$d = F(m) + e \quad (13)$$

dimana e adalah nilai eror. Maka akan diperoleh solusi model dengan menyederhanakan fungsi objektif (ψ) seperti berikut:

$$\psi = (d - F(m))^T V^{-1} (d - F(m)) + \lambda m^T L^T L m \quad (15)$$

dimana λ adalah parameter regulasi yang merupakan bilangan positif yang digunakan dalam pembobotan, V adalah variasi dari eror, dan L adalah Laplacian. Penelitian ini memiliki tujuan untuk

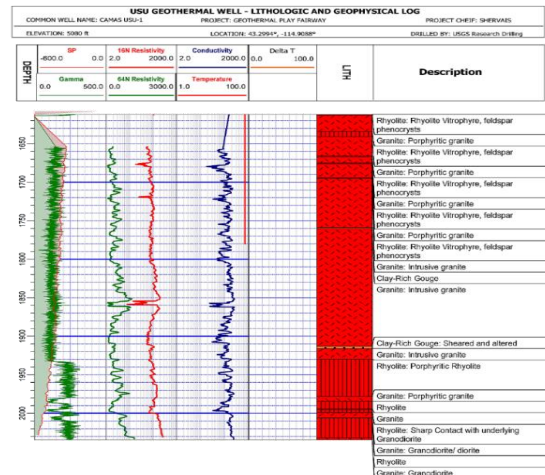
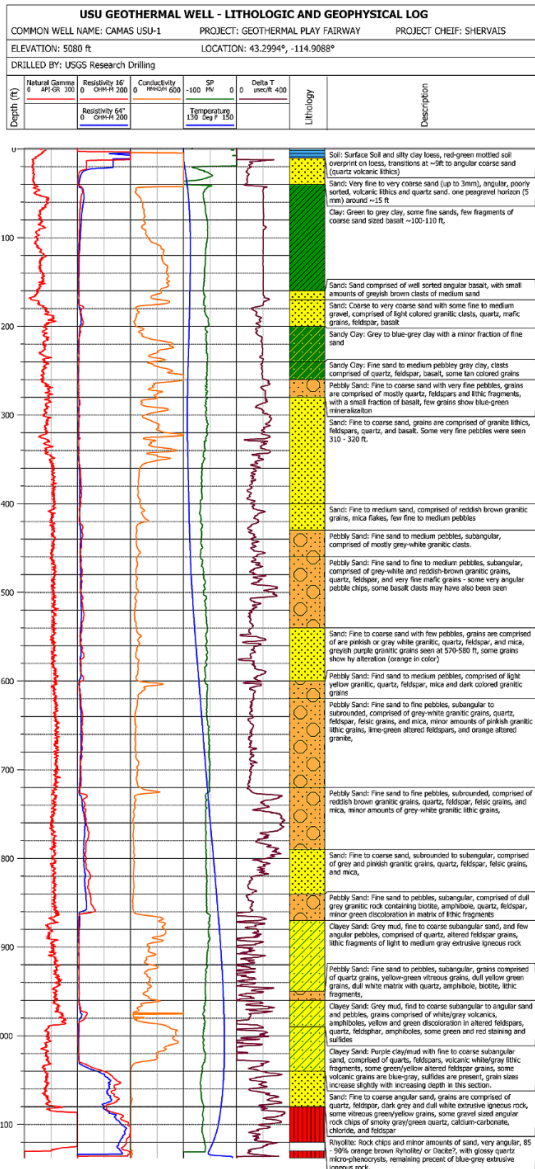
analisis data MT berupa mengidentifikasi arah Geoelectrical strike dan dimensionalitas berdasarkan analisis tensor fase untuk mendapatkan hasil pemodelan 2D bawah permukaan dalam penentuan sistem panas bumi Camas Prairie, Idaho, USA.

METODOLOGI

Sumber sinyal metode Magnetotelurik berasal dari proses alami yang kompleks dengan menghasilkan spektrum 10^{-5} Hz – 10^4 Hz (Grandis, 2010). Gelombang elektromagnetik yang masuk ke dalam bumi yang merupakan konduktor akan menimbulkan *Eddy current* dan selanjutnya menghasilkan medan magnet sekunder. Pada frekuensi > 1 Hz sumber alami gelombang EM berasal dari meteorologi seperti petir. Pada frekuensi < 1 Hz dihasilkan dari interaksi badai matahari dan medan magnet bumi (Vazoff, 1991).

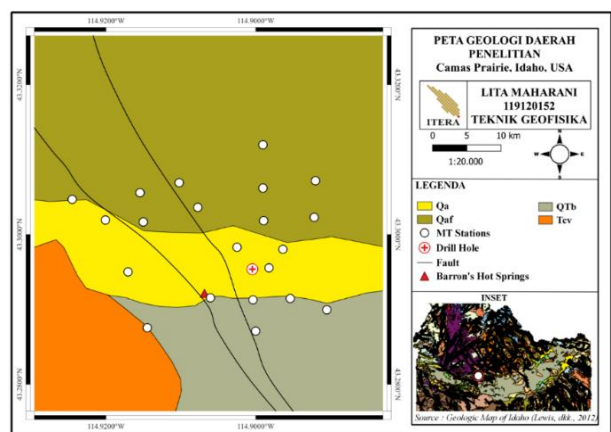
Padang MCamas terletak di utara Snake River Plain dan termasuk dalam wilayah vulkanik yang memiliki topografi melengkung yang menunjukkan adanya aliran panas tinggi yang terkait dengan *hotspot* Yellowstone. Oleh karena itu, sasaran dalam penelitian ini adalah interpretasi sistem panas bumi yang terdapat di Camas Prairie, Idaho, Amerika Serikat. Camas Prairie terbentuk dari lapisan batuan sedimen kuartar, termasuk aluvium (Qa) dan (Qaf) yang mengandung berbagai ukuran kerikil, batu pasir, dan lanau. Selain itu, terdapat juga lapisan basal kuartar (Qtb) yang berasal dari letusan gunung pada rentang waktu 6-7 miliar tahun yang lalu (Morgan & Pierce, 1992); (Hughes, dkk, 2002); (Shervais, dkk 2022). Kemudian didominasi juga oleh formasi vulkanik Challis (Tcv) berupa andesit, riolit tufa, dan basal dari timur dan utara daerah penelitian. Sebagaimana peta geologi daerah penelitian terlampir pada Gambar 2.

Selain itu juga terdapat endapan riolit dan granit yang terbentuk akibat fraksinasi magma yang berasal dari *hotspot* Yellowstone (McCurry dkk., 2008); (McCurry & Rodgers, 2009); (Knott dkk., 2016) di validasi oleh *drill hole* pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Litologi dan interpretasi log geofisika USU Camas-1 (Shervais dkk., 2012)

Data Magnetotelurik yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari akuisisi metode MT oleh Alan D. Chave dan David J. Thomson tahun 2004 di daerah Camas Prairie dan dipublikasikan pada tahun 2018 oleh *United States Geological Survey* pada situs resmi *Geothermal Data Repository OpenEi* (USGS, 2018). Data diperoleh sebanyak 21 titik pengukuran dengan format *.edi. Adapun desain akuisisi terlampir pada Gambar 2 berikut ini.



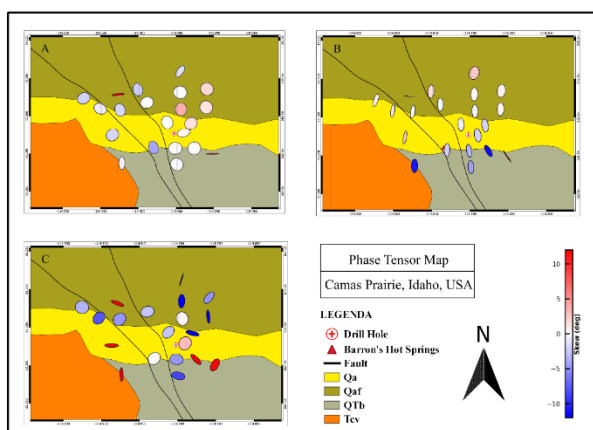
Gambar 2. Peta Geologi Daerah Penelitian (Lewis dkk., 2012)

Analisis tensor fase yang dilakukan terhadap data sounding MT tersebut diolah dengan menggunakan perangkat lunak dalam bentuk coding Python milik *University of Adelaide*. Selain itu perangkat lunak ini digunakan untuk menentukan dimensionalitas masing-masing titik. Selanjutnya juga dilakukan analisis polar diagram untuk melihat arah *Geoelectrical strike* dan pada *software winglink*

untuk melihat kurva resistivitas semu vs periode, serta melakukan pemodelan inversi 2D.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini diawali dengan analisis tensor fase, di mana pada dimensionalitasnya perlu dilakukan *overlay elips* dengan lembar geologi dan meninjau *Geoelectrical strike* dengan melakukan *plot diagram rose*. Dalam hal ini untuk menentukan arah struktur dan konduktivitas medium bawah permukaan yang digunakan untuk rotasi data MT. Adapun rentang periode yang digunakan meliputi rendah, sedang, tinggi.

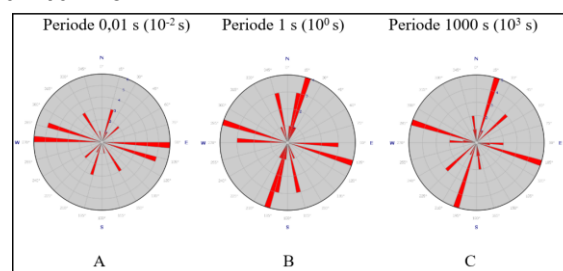


Gambar 3. Peta tensor fase (a) periode rendah, (b) periode sedang, dan (c) periode tinggi

Pada analisis dimensionalitas peta elliptisitas periode rendah (0,01 s) ditunjukkan oleh Gambar 3.a didominasi dengan bentuk lingkaran dan berwarna putih yang merepresentasikan nilai *skew angle* yang mendekati nol ($\beta = 0$) yang berasosiasi pada kedalaman dangkal, di mana sumbu maksimum sama dengan sumbu minimum ($\Phi_{max} = \Phi_{min}$) dalam hal ini menunjukkan karakteristik kecenderungan dimensionalitas 1D. Pada peta elliptisitas periode sedang (1 s) ditunjukkan oleh Gambar 3.b. didominasi dengan bentuk *elips* simetris dan mempresentasikan warna berdasarkan nilai *skew angle* $-3^\circ < \beta < 3^\circ$ yang berasosiasi pada kedalaman sedang, di mana sumbu maksimum tidak sama dengan sumbu minimum ($\Phi_{max} \neq \Phi_{min}$) sehingga mencirikan kecenderungan dimensionalitas 2D. Pada peta elliptisitas periode tinggi (1000 s) ditunjukkan oleh Gambar 3.c didominasi dengan

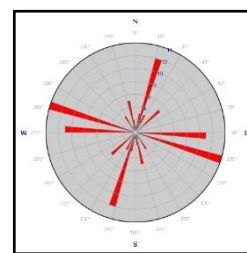
bentuk *elips* asimetris dan mempresentasikan warna berdasarkan nilai *skew angle* $\beta < -3^\circ$ atau $\beta > 3^\circ$ berasosiasi pada kedalaman tinggi memiliki sumbu maksimum tidak sama dengan sumbu minimum ($\Phi_{max} \neq \Phi_{min}$) sehingga mencirikan kecenderungan dimensionalitas 3D.

Dalam mengetahui arah *Geoelectrical strike* daerah penelitian yang hasilnya berupa arah struktur dapat divisualisasikan dengan diagram *rose*. Arah *Geoelectrical strike* pada periode rendah 10^{-2} s menunjukkan diagram *rose* Gambar 4.a dari analisis tensor fase memiliki orientasi $W90^\circ E$. Pada periode sedang 10^0 s Gambar 4.b memiliki orientasi $N15^\circ E$ dan $N105^\circ E$ dan pada periode tinggi 10^3 mempunyai orientasi yang sama sebesar $N15^\circ E$ dan $N105^\circ W$ Gambar 4.c.



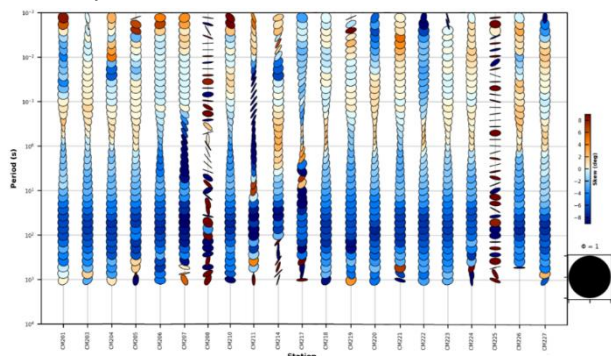
Gambar 4. Diagram *rose* dari analisis tensor fase (A) periode rendah, (B) periode sedang, dan (C) periode tinggi

Pada Gambar 5 merupakan arah struktur dominan yang memiliki arah barat laut – tenggara. Dalam hal ini memiliki kesesuaian dengan arah struktur penelitian sebelumnya (Shervais dkk., 2022) yang telah divalidasi bahwa arah struktur area daerah penelitian menunjukkan tren struktur sebesar $N105^\circ W$. Namun dalam penentuan arah *Geoelectrical strike* ini juga harus memiliki relevansi terhadap struktur geologi yang dominan, hal ini dikarenakan dalam analisis tensor fase memiliki ambiguitas sebesar 90° .



Gambar 5. Diagram *rose* semua periode

Pada Gambar 6 terlihat tensor fase pada semua data dari rentang periode rendah (10^{-2} s), sedang (10^0 s) dan periode tinggi (10^3 s) merepresentasikan elips dominan simetris dengan arah yang memiliki kecenderungan dimensionalitas 2D dan memiliki arah *Geoelectrical strike* yang searah. Maka dalam hal ini juga berasosiasi dengan karakter 2D yaitu variasi resistivitas terhadap kedalaman dan lateralnya.

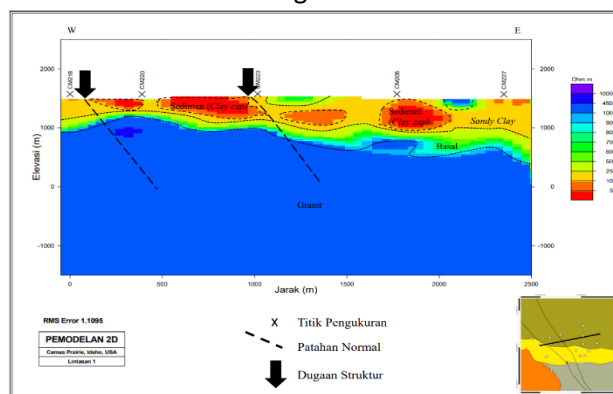


Gambar 6. Diagram tensor fase sections 21 MT stations pada keseluruhan periode

Berdasarkan analisis tensor fase dari semua rentang periode diketahui bahwa dominasi arah pada data Magnetotelurik daerah Camas Prairie yang diperoleh adalah sebesar $N105^{\circ}E$ kemudian digunakan untuk merotasi data MT. Penentuan arah *Geoelectrical strike* harus memiliki relevansi dengan geologi daerah penelitian, sebab dalam analisis tensor fase memiliki ambiguitas sebesar 90° derajat. Dari analisis *Geoelectrical strike* juga berfungsi untuk penarikan arah lintasan. Setelah data dilakukan rotasi dan penarikan lintasan, kemudian inversi 2D dengan pendekatan *Nonlinear Conjugate Gradient* (NLCG). Inversi ini menggunakan fungsi diferensial pada fungsi minimum yang bertujuan untuk meminimumkan *outliers* sehingga menghasilkan model yang optimum. Pembuatan model inversi 2D menggunakan 4 lintasan yang di mana masing-masing lintasan memiliki kesamaan *initial model* homogen dengan resistivitas sebesar $100 \Omega m$ serta memiliki perlakuan iterasi yang sama yaitu 50 kali.

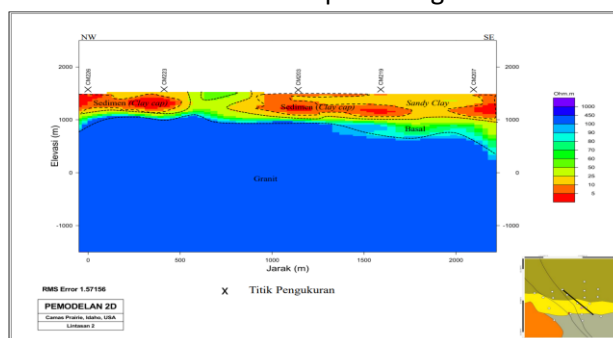
Pada Gambar 7 merupakan lintasan 1 yang terdiri dari 5 titik pengukuran MT memiliki arah lintasan barat-timur dengan patahan dextral-normal yang memotongnya berarah barat laut-tenggara yaitu sesar *pothole*, dan menggunakan parameter

pembobotan inversi *alpha* 0,5, *beta* 3, dan *tau* 0,9 menghasilkan RMS error sebesar 1,1095%. Pada model ini terdapat dua sesar yang telah diketahui sebelumnya memiliki kedalaman 1500 m yaitu sesar *pothole zone* yang sesuai dengan geologi daerah penelitian. Pada lapisan zona sedimen yang persebarannya di antara batuan penudung dengan kedalaman semakin dangkal ke arah barat.



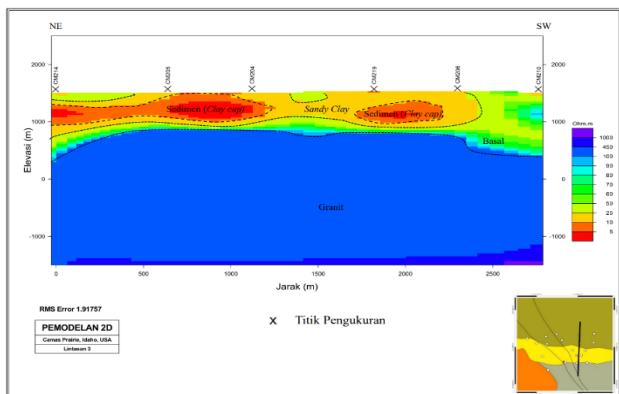
Gambar 7. Inversi 2D Lintasan 1

Pada Gambar 8 merupakan lintasan 2 yang terdiri dari 5 titik dengan arah lintasan barat laut – tenggara dan menggunakan parameter pembobotan inversi *alpha* 1, *beta* 3, dan *tau* 3 menghasilkan RMS error sebesar 1,57156%. Pada lapisan zona sedimen terlihat persebarannya semakin dangkal ke arah barat laut diantara batuan penudung.



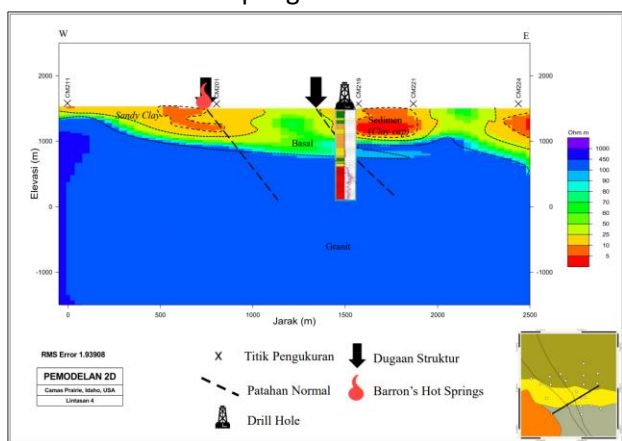
Gambar 8. Inversi 2D Lintasan 2

Pada Gambar 9 merupakan lintasan 3 yang terdiri dari 6 titik pengukuran dengan arah lintasan timur laut–barat daya dan menggunakan parameter pembobotan inversi *alpha* 2, *beta* 5, dan *tau* 1 menghasilkan RMS error sebesar 1,9 %. Pada lapisan zona sedimen dengan kedalaman 1000 m persebarannya semakin dangkal ke arah barat daya diantara batuan penudung.



Gambar 9. Inversi 2D Lintasan 3

Pada Gambar 10 merupakan lintasan 4 yang terdiri dari 5 titik dengan arah lintasan barat-timur dengan patahan yang memotongnya berarah barat laut-tenggara, sesar tersebut sesuai dengan geologi daerah penelitian. Kemudian untuk lapisan zona sedimen dengan kedalaman 1000 m yang persebarannya semakin dangkal ke arah barat diantara batuan penudung. Hasil pemodelan MT pada lintasan 4 menunjukkan bahwa zona patahan *Pothole* sebagai *discharge area* bertepatan dengan resistivitas yang kontras, di mana hal ini merupakan ciri utama adanya alterasi hidrotermal. Hal ini juga divalidasi oleh hasil pengeboran USU Camas-1.



Gambar 10. Inversi 2D Lintasan 4

Ketika solusi model sudah didapatkan, lalu untuk mendukung interpretasi keberadaan sistem panas bumi, didapatkan persebaran nilai resistivitas bawah permukaan pada Tabel 1 berdasarkan nilai resistivitas penelitian sebelumnya. Pada hasil model keempat lintasan memiliki persebaran nilai resistivitas yang relatif sama. Di mana lapisan dengan resistivitas rendah 1-10 Ωm ditandai dengan warna

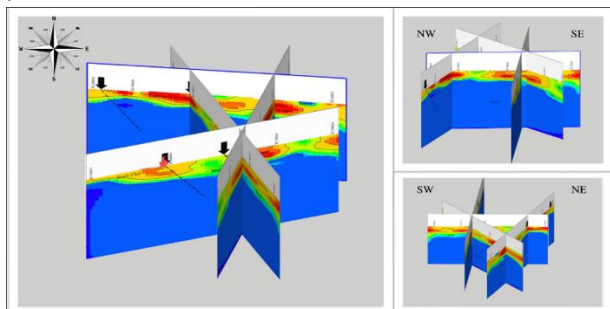
merah diduga sebagai lapisan batuan penudung (*caprock*) berupa *clay* yang teralterasi dan memiliki karakteristik *impermeable*. Hal ini dikarenakan pada hukum Archie yang dimodifikasi oleh Caldwell menyatakan bahwa kehadiran mineral lempung akan membuat nilai resistivitasnya menjadi tidak terdefinisi sehingga nilai resistivitasnya rendah. Pada model terdapat dua sesar yang telah diketahui sebelumnya memiliki kedalaman 1,5 km memiliki arah barat laut - tenggara yang bernama sesar *pothole zone* sehingga terdapat kontras resistivitas yang menandakan bahwa keterdapat sesar tersebut sesuai dengan geologi daerah penelitian.

Tabel 1. Beberapa nilai resistivitas batuan pada lokasi penelitian

Batuan	Resistivitas (Ωm)	Sumber
Sedimen (zona alterasi)	1-10 Ωm	Shervais dkk., 2016
Basal	50 – 70 Ωm	Shervais dkk., 2016
Granit	200-1000 Ωm	Shervais dkk., 2016

Pada lapisan selanjutnya diduga lempung pasir (*Sandy Clay*) yang ditandai dengan warna oranye dengan resistivitas 10-25 Ωm . Kemudian lapisan diduga sebagai lapisan pasir dengan resistivitas 25-50 Ωm ditandai dengan warna kuning. Kemudian pada lapisan dengan nilai resistivitas 50 – 70 Ωm yang ditunjukkan dengan hijau yang diduga sebagai batuan basal yang memiliki karakteristik permeabel karena batuan penyusunnya merupakan basal berpori berumur Pliosen dan Miosen. Lapisan dengan nilai resistivitas $\geq 100 \Omega m$ yang ditunjukkan berwarna biru sampai ungu diduga sebagai *basement* yang mengkristal berasal dari formasi vulkanik Challis terbentuk dari intrusi magma. Pada Gambar 11 merupakan visualisasi dari *crossline* pemodelan untuk semua lintasan, di mana pembuatan *crossline* ini dengan tujuan untuk melihat kemenerusan pada setiap model bawah permukaan untuk setiap lintasan. Struktur yang lebih dalam bersifat resistif dan memiliki kecenderungan barat laut-tenggara mengikuti patahan regional dan mengontrol geometri *basin* dengan zona konduktif

mendasari *Barron's Hot Springs* dan dibatasi oleh patahan *Pothole*.



Gambar 11. Crossline semua lintasan

PENUTUP

Simpulan dan Saran

Analisis tensor fase menyatakan bahwa dimensionalitas pada daerah penelitian struktur dimensionalitas memiliki karakteristik 1D pada kedalaman dangkal, 2D pada kedalaman menengah, dan 3D pada kedalaman yang dalam. Pada daerah penelitian data dominan 2D untuk kedalaman menengah dengan arah *Goelectrical strike* N105°E. Arah *Goelectrical strike* ini digunakan untuk merotasi data MT dan meminimalisasi kesalahan dalam interpretasi. Pemodelan 2D inversi data MT menunjukkan batuan lapisan penutup (*clay cap*) dengan nilai resistivitas rendah 1-10 Ωm . Pada lapisan selanjutnya diduga lempung pasir (*Sandy Clay*) dengan resistivitas 10-25 Ωm . Kemudian lapisan diduga pasir dengan resistivitas 25-50 Ωm . Pada resistivitas 50-70 Ωm merupakan lapisan yang diduga sebagai batuan basal berpori, pada resistivitas 200-1000 Ωm diduga batuan granit sebagai reservoir *hot dry rock* pada *basement (heat source)* berasal dari formasi vulkanik *Challis* terbentuk dari intrusi magma. Terdapat kontras resistivitas yang diidentifikasi sebagai struktur berupa sesar dextral-normal *Pothole zone* sebagai *discharge area* yang bertepatan di *Barron's Hot Springs*. Dalam model inversi 2D bawah permukaan data MT seharusnya dilengkapi dengan data pendukung lain seperti data TDEM untuk menghilangkan efek statik sehingga akan mendapatkan model yang lebih komprehensif dan optimal.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada *research geophysicist United States Geological Survey (USGS)* sebagai penyedia data dan juga penyedia *code python*, *University of Adelaide* serta semua pihak yang turut memberikan sumbangsih dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Brott, C. A., Blackwell, D. D., & Mitchell, J. C. (1976). Geothermal Investigations in Idaho Part 8. Heat flow studies of the Snake River Plain, Idaho. In Geothermal Investigations in Idaho, Idaho Dept. Water Resour., Water Info. Bull., 30.
- Caldwell, T. G., Bibby, H. M., & Brown, C. (2004). The magnetotelluric phase tensor. *Geophysical Journal International*, Vol. 158, 457-469.
- Fenneman, N. (1917), Physiographic Subdivision of the United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. Vol 3. 17-22
- Grandis, H. (2010). Magnetotelluric (MT) Method. Bandung: ITB.
- Hochstein, Manfred P, Patrick R L Browne. (2000). Surface Manifestations of Geothermal System with Volcanic Heat Source. *Encyclopedia of Volcanoes*: 835-855.
- Hughes, S.S., P.H. Wetmore, and J.L. Casper, 2002, Evolution of Quaternary tholeiitic basalt eruptive centers on the eastern Snake River Plain, Idaho, in Bill Bonnicksen, C.M. White, and Michael McCurry, eds., *Tectonic and Magmatic Evolution of the Snake River Plain Volcanic Province: Idaho Geological Survey Bulletin 30*,
- Knott, T., Branney, M., Reichow, M., Finn, D., Coe, R., M.Storey, McCurry, M. (2016). Mid-Miocene record of large-scale Snake River-type explosive volcanism and associated subsidence on the Yellowstone hotspot track: The Cassia Formation of Idaho, USA. *Geological Society of America Bulletin*.
- Lewis, R.E., Link, P.K., Stanford, L.R., Long, S.P., (2012). Geologic map of Idaho, Tech. Rep. M-9. Idaho Geological Survey.
- McCurry, M., & Rodgers, D. (2009). Mass transfer along the Yellowstone hotspot track I: Petrologic constrain on the volume of mantle-derived magma. *Journal of volcanology and Geothermal Research*.
- McCurry, M., Hayden, K., Morse, L., & Mertzman, S. (2008). Genesis of post-hotspot, A-type rhyolite of the Eastern Snake River Plain volcanic field by

extreme fractional crystallization of olivine tholeiite. *Bulletin of Volcanology*.

- Morgan, K., & Pierce, L. (1992). *The track of the Yellowstone hotspot: Volcanism, faulting, and uplift*. Geological Society of America.
- Rodi, W. L., & Mackie. (2001). Nonlinear conjugate gradients algorithm for 2-D magnetotelluric inversion. *Geophysics*, 174-187.
- Simpson, F., & Bahr, K. (2005). *Practical Magnetotellurics*. Cambridge University Press.
- Shervais, J. W., Evans, J. P., L. Newell, D., Glen, J. M., Siler, D., DeAngelo, J., Burns, E. (2016). *Geothermal Play Fairway Analysis of the Snake River Plain Volcanic Province: Phase 1. Proceedings, 41st Workshop on Geothermal Reservoir Engineering (hal. 3)*. California: Stanford University.
- Shervais, J., G. Vetter, S. K., S. Hanan, B. B., McGee, & J. J. (2022). *Origin and Evolution of the western Snake River Plain : Implications from stratigraphy, faulting, and the geochemistry of basalts near Mountain Home, Idaho*.
- Shervais, J. W., Nielson, D. L., E., J. P., Lachmar, Schmitt, D. L. (2012). *Hotspot: The Snake River Geothermal Drilling Project. Initial Report, 36, 767-772*.
- Telford, W. M., Geldart, L. P. and Sheriff, R. E. (1990) *Applied Geophysics*. 2nd Edition, Cambridge University Press, Cambridge, 770. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139167932>
- United States Geological Survey. (2018). *SNAKE RIVER PLAIN Geothermal Play Fairway Analysis Project MT Data [dataset]*. Retrieved from <https://dx.doi.org/10.15121/1493809>.
- Vazoff, K. (1991). *Magnetotelluric Method. Electromagnetic Methods in Applied Geophysics Application*. Society Of Exploration Geophysicist.
