

Data Magnetotelurik Menggunakan Analisis *Time series* dan *Local reference*: Studi Kasus Lapangan *Shale Gas Kutai*

Istiqomah Dini Pratiwi^{1,a)}, Wahyu Srigutomo^{1,b)}, dan Hidayat^{2,c)}

¹Laboratorium Fisika Bumi,
Kelompok Keilmuan Fisika Bumi dan Sistem Kompleks,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

²Pusat Survei Geologi,
Badan Geologi,
Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral,
Jl. Diponegoro no. 57 Bandung, Indonesia, 40144

^{a)} istiqomahdinip13@gmail.com (corresponding author)

^{b)} wahyu@fi.itb.ac.id

^{c)} hidayat@grdc.esdm.go.id

Abstrak

*Struktur geologi bawah permukaan suatu daerah dapat diketahui melalui survei geofisika. Salah satu metode survei geofisika adalah metode magnetotelurik yang memanfaatkan medan elektromagnetik bumi untuk memetakan struktur geologi bawah permukaan bumi berdasarkan distribusi resistivitas material bawah permukaan. Adanya sumber gangguan elektromagnetik di daerah penelitian menyebabkan rendahnya kualitas data. Pada makalah ini, kami akan meningkatkan kualitas data hasil survei magnetotelurik dengan menggunakan analisis *time series* dan *local reference* sehingga diperoleh data dengan kualitas tinggi untuk merepresentasikan kondisi bawah permukaan yang realistis.*

Kata-kata kunci: koherensi, local reference, magnetotelurik, resistivitas, time series

PENDAHULUAN

Metode magnetotelurik merupakan salah satu metode geofisika pasif yang menggunakan prinsip gelombang elektromagnetik untuk mengetahui struktur geologi bawah permukaan. Penggunaan metode magnetotelurik dalam pengukuran geofisika dipopulerkan oleh Tikhonov (1950) dan Cagniard (1953). Metode ini memetakan struktur bawah permukaan bumi berdasarkan kontras resistivitas material bawah permukaan. Metode magnetotelurik (MT) memanfaatkan sumber elektromagnetik alami bumi (Vozoff, 1972) seperti aktivitas petir yang menghasilkan sinyal berfrekuensi > 1 Hz dan aktivitas angin matahari atau *solar wind* yang menghasilkan sinyal berfrekuensi < 1 Hz. Metode MT dilakukan dengan mengukur fluktuasi medan listrik dan medan magnet bumi. Kedalaman penetrasi dari metode ini direpresentasikan oleh besaran *skin depth* yang bergantung pada frekuensi yang digunakan saat pengukuran.

Secara garis besar dapat dikatakan bahwa saat terjadi petir maupun angin matahari, medan magnetik bumi akan terganggu. Fluktuasi medan magnetik (primer) ini akan menginduksi arus listrik yang disebut dengan arus Eddy yang kemudian menimbulkan medan magnetik sekunder. Medan elektromagnetik primer dan sekunder ini diukur oleh *receiver* untuk kemudian dianalisa. Amplitudo dan fasa dari medan elektromagnetik sekunder bergantung pada sifat kelistrikan dari batuan bawah permukaan, hal inilah yang menyebabkan metode ini dapat digunakan untuk mengetahui struktur bawah permukaan bumi. Terdapat

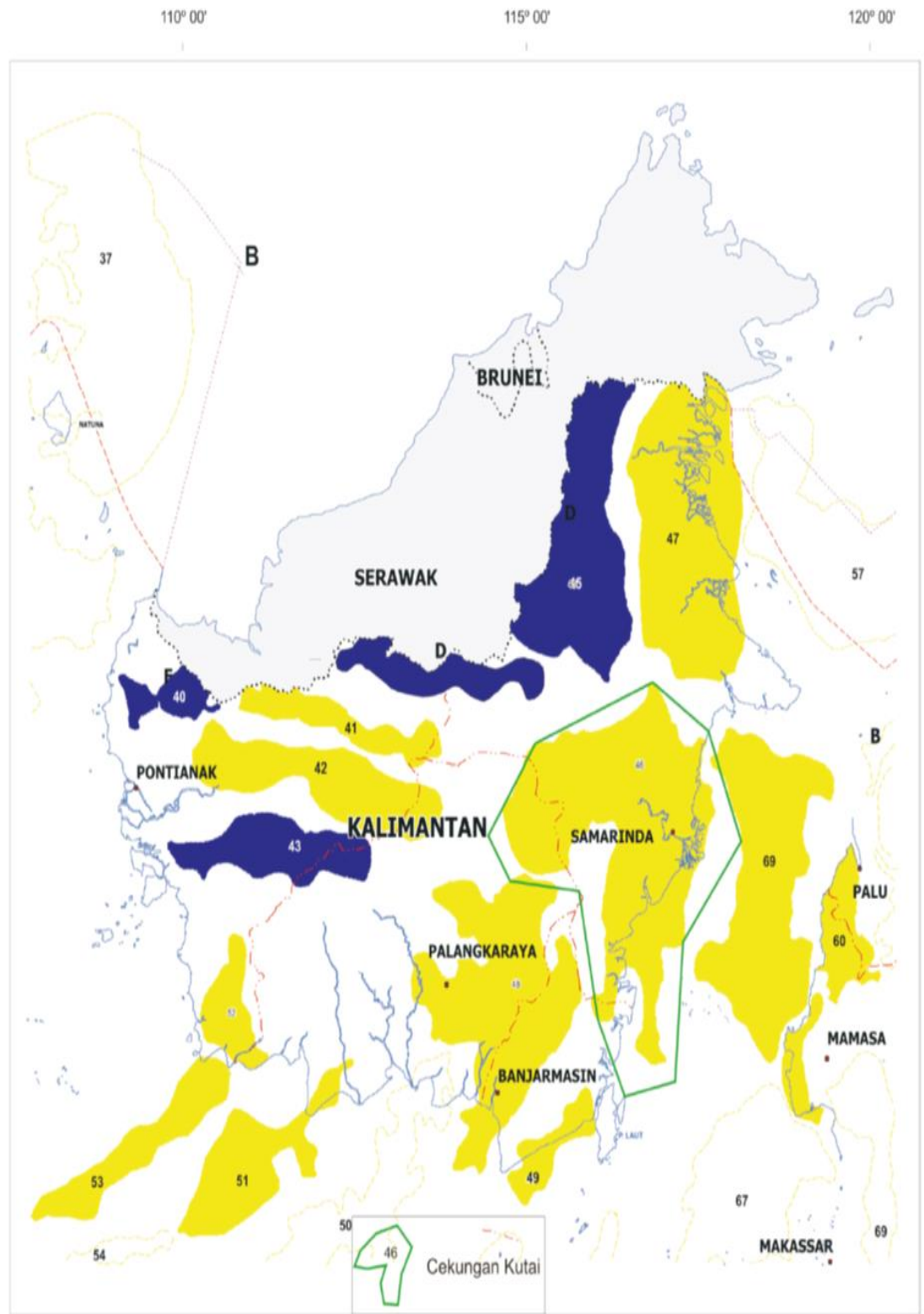
beberapa asumsi yang mendasari metode MT (Cagniard, 1953 ; Keller dan Friscknecht, 1996), diantaranya adalah:

1. Persamaan Maxwell untuk gelombang elektromagnetik terpenuhi
2. Bumi tidak membangkitkan medan elektromagnetik melainkan hanya mendisipasi atau menyerap medan tersebut. Di bawah permukaan tanah tidak terdapat sumber muatan.
3. Seluruh medan elektromagnetik dianggap konservatif dan secara analitis jauh dari sumbernya.
4. Sumber medan elektromagnetik pasif dibangkitkan oleh sistem arus ionosfer skala besar yang relatif jauh dari permukaan bumi, sehingga dapat dianggap sebagai gelombang bidang elektromagnetik uniform saat datang pada permukaan bumi.
5. Tidak ada akumulasi muatan bebas di lapisan bumi dengan model bumi berlapis dengan konduktivitas bervariasi secara vertikal. Pada bumi multi dimensi, muatan dapat terakumulasi di sepanjang diskontinuitas.
6. Bumi berperilaku sebagai konduktor Ohmic yang memenuhi persamaan $\vec{J} = \sigma E$, dengan J adalah densitas arus listrik total (A/m^2), σ adalah konduktivitas medium (S/m), dan E adalah medan listrik (V/m).
7. Medan listrik perpindahan (*displacement*) akibat efek polarisasi yang berubah terhadap waktu sangat kecil (dapat diabaikan) jika dibandingkan dengan arus konduksi yang bergantung waktu sehingga mengakibatkan induksi elektromagnetik murni merupakan proses difusi.
8. Variasi permitivitas listrik dan permeabilitas magnetik batuan diasumsikan tidak signifikan (sangat kecil) dibandingkan dengan variasi konduktivitas *bulk* batuan.

Medan listrik yang sejajar dengan *strike* akan menginduksi medan magnet yang tegak lurus *strike* di bidang vertikal, begitu pula saat suatu medan magnet sejajar *strike* maka akan menginduksi medan listrik yang tegak lurus *strike* di bidang vertikal. Oleh karena itu, untuk kasus 2D persamaan Maxwell dapat memiliki dua mode polarisasi, yakni polarisasi TE atau *Transverse Electric* (medan E sejajar *strike*) dan polarisasi TM atau *Transverse Magnetic* (medan H sejajar *strike*). Polarisasi TE yang juga disebut dengan polarisasi E menggambarkan aliran arus (medan listrik) yang sejajar *strike* dengan komponen medan E_x , H_y , dan H_z . Polarisasi TM yang juga disebut polarisasi B menggambarkan aliran arus (medan listrik) yang tegak lurus arah *strike* dengan komponen medan elektromagnetik H_x , E_y , dan E_z .

Metode MT memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan metode eksplorasi geofisika lainnya, diantaranya adalah sumbernya yang tak terbatas, penetrasi yang dalam, tidak memerlukan *transmitter* gelombang, memberikan informasi pada area non-seismik, resolusi yang lebih baik dibanding metode gravity dan magnetik, serta tidak merusak lingkungan. Namun metode ini juga memiliki kekurangan, yakni sensitif terhadap sumber *noise* elektromagnetik, baik yang disebabkan oleh aktivitas alam (*noise* koheren) seperti petir lokal dan badai matahari maupun *noise* akibat aktifitas manusia (*noise* non-koheren) di sekitar lokasi pengukuran.

Pada makalah ini akan dibahas mengenai peningkatan kualitas data magnetotelurik dengan menggunakan data survei magnetotelurik daerah Kutai, Kalimantan Timur milik Pusat Survei Geologi (PSG). Akuisisi data dilakukan pada tahun 2017 yang mencakup 13 stasiun pengukuran. Penelitian ini dilakukan dengan melakukan transformasi Fourier, *robust processing*, analisis *time series* dan analisis *local reference* untuk mendapatkan data berkualitas baik yang diindikasikan oleh nilai koherensi tertinggi.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian (Pusat Survei Geologi, 2017).

PENGOLAHAN DATA MAGNETOTELURIK

Koherensi Sinyal

Koherensi merepresentasikan korelasi antara medan E dan H. Jones (2002), menyatakan bahwa koherensi mengukur *signal-to-noise* ratio (SNR) dari medan magnetik vertikal terhadap medan magnetik horizontal. Koherensi sinyal bernilai $0 < \gamma^2 < 1$. Koherensi yang bernilai 0 menunjukkan bahwa proses tersebut independen secara statistik, sedangkan nilai 1 menunjukkan bahwa medan E dan H sepenuhnya koheren. Namun medan E dan H tidak akan sepenuhnya koheren, karena saat pengukuran selalu terdapat *noise* baik dari sumber alami maupun aktifitas manusia. Nilai koherensi di bawah 0.8 secara umum mengindikasikan adanya sumber *noise* lokal yang disebabkan oleh instrumen pengukuran atau efek kultural. Hal ini juga dapat mengindikasikan adanya sumber alami yang terlokalisasi seperti kilat atau petir yang tidak sesuai dengan asumsi MT yang menyatakan bahwa medan sumber *uniform* secara spasial.

Nilai koherensi dapat menjadi parameter kualitas data jika dipenuhi kondisi ideal yakni lokasi pengukuran yang bebas dari *noise* elektromagnetik, proses akuisisi (pemasangan instrumen) yang benar, dan tidak ada induksi antar instrumen. Namun karena kondisi ideal ini tidak mungkin terjadi, maka untuk mengetahui kualitas data, selain melalui nilai koherensi juga melalui trendline (*smoothness*) kurva resistivitas dan fasa.

Smoothness

Saat melakukan pengukuran, nilai resistivitas yang diperoleh merupakan nilai resistivitas semu, yakni nilai resistivitas yang masih dipengaruhi oleh efek geometri. Berdasarkan hal ini maka kurva nilai resistivitas haruslah memiliki trend tertentu (*smooth*). Data yang baik akan memiliki kurva resistivitas yang *smooth* (halus, tidak memiliki puncak yang tajam). Selain itu berdasarkan asumsi bumi homogen isotropis (1D), pada kurva fasa tidak diperbolehkan adanya perubahan nilai fasa yang melebihi 45 derajat kecuali pada daerah *dead band*. Pada rentang frekuensi sekitar 1 Hz (*dead band*), sinyal alami magnetotelurik berada pada kondisi minimum dengan amplitudo yang sangat rendah sehingga kualitas data pada rentang frekuensi ini menurun dan nilai koherensi tidak dapat dijadikan sebagai acuan kualitas data.

Transformasi Fourier

Data mentah (*raw data*) hasil penelitian yang berupa *time series* (domain waktu) perlu diubah menjadi domain frekuensi agar dapat diolah lebih lanjut. Untuk itu maka digunakan transformasi Fourier yang merupakan suatu proses untuk mengubah sinyal domain waktu menjadi sinyal domain frekuensi. Fungsi hasil transformasi dalam domain frekuensi merepresentasikan jumlah dari bobot perubahan amplitudo dan fasa pada setiap frekuensi dengan asumsi fungsi frekuensi merupakan fungsi konstan terhadap waktu atau stasioner (Peacock, 2012).

Pada pengolahan data magnetotelurik digunakan metode *Fast Fourier Transform* (FFT). FFT merupakan teknik komputasi yang digunakan untuk melakukan transformasi Fourier dari data diskrit dalam jumlah banyak secara efisien dengan memanfaatkan sifat periodik dari fungsi sinus dan cosinus (Heditama, 2011). Pada pemrosesan FFT, data *time series* dibagi menjadi beberapa segmen yang kemudian diolah dengan menghilangkan data yang mengalami saturasi pada suatu segmen tertentu. Saat koherensi suatu segmen lebih kecil dari nilai *threshold*, maka segmen ini tidak digunakan dalam estimasi spektrum *cross power*. Hal ini mengakibatkan jumlah segmen berkurang sehingga variansi dari nilai estimasi resistivitas meningkat.

Robust processing

Chave et al. (1987), Larsen et al. (1996), Smirnov (2003) dan Chave & Thomson (2004) merekomendasikan teknik statistik *robust* untuk menghilangkan data *outlier* (data yang menyimpang dari *trendline*) pada *cross power* sehingga dapat mengurangi *noise* pada data. Faktor yang menyebabkan keberhasilan metode ini hingga menjadi metode yang populer yakni kemampuannya yang melebihi teknik pemrosesan data yang lain (Jones et al, 1989), dapat mengestimasi secara tepat (Egbert & Livelybrooks, 1996), serta dapat diimplementasikan menggunakan prosedur pembobotan iteratif *Least Square* (Chave & Thomson, 1989). Secara umum teknik *robust* memiliki prinsip yang sama dengan teknik *least square*, yaitu mengikuti *trendline* data dengan mengurangi pengaruh data *outlier*. Namun pada teknik *robust* pengaruh

outlier lebih sedikit dibandingkan pada teknik least square sehingga dapat menghasilkan data dengan kualitas yang lebih baik. Pada makalah ini proses *robust* dilakukan dengan menggunakan *software* SSMT2000 dengan tiga tipe pembobotan nilai, yakni :

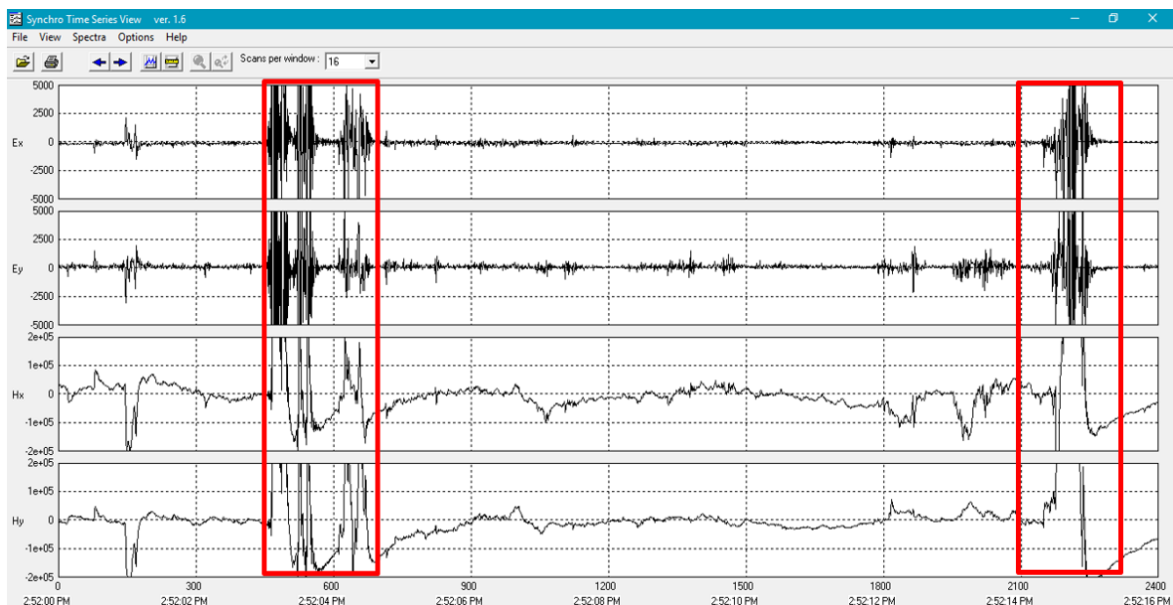
- *No Weight* (NW) : memberikan faktor bobot = 1 untuk seluruh data atau dengan kata lain tidak ada data yang diubah
- *Rho Variance* (RV) : memberikan bobot berdasarkan nilai error dari rho. Semakin kecil error bar pada suatu data maka semakin besar bobot yang diberikan.
- *Ordinary Coherence* (OC) : memberikan bobot berdasarkan koherensi medan E dan H.

Analisis *time series*

Penggunaan analisis *time series* dalam pre-processing data magnetotelurik dapat meningkatkan kualitas data secara signifikan (Peacock, 2012). Proses ini dilakukan dengan mengidentifikasi *noise* yang terdapat pada data, terutama *noise* koheren dan periodik. Dalam pengukuran magnetotelurik, data variasi medan listrik dan medan magnet terhadap waktu yang diperoleh berupa data dalam format *time series*. Terdapat 3 jenis data *time series*, yakni :

- TS3 : data untuk rentang frekuensi pengukuran 320 Hz – 40 Hz (*high frequency*)
- TS4 : data untuk rentang frekuensi pengukuran 5.6 Hz – 3.3 Hz (*medium frequency*)
- TS5 : data untuk rentang frekuensi pengukuran 4.7 Hz – 0.00034 Hz (*low frequency*)

Analisis *time series* dilakukan untuk meningkatkan koherensi data dengan menghilangkan data (sinyal) yang mengandung *noise* koheren pada data TS3, TS4 dan TS5 pada rentang waktu tertentu.



Gambar 2. Data *time series* dan *noise* koheren.

Analisis *local reference*

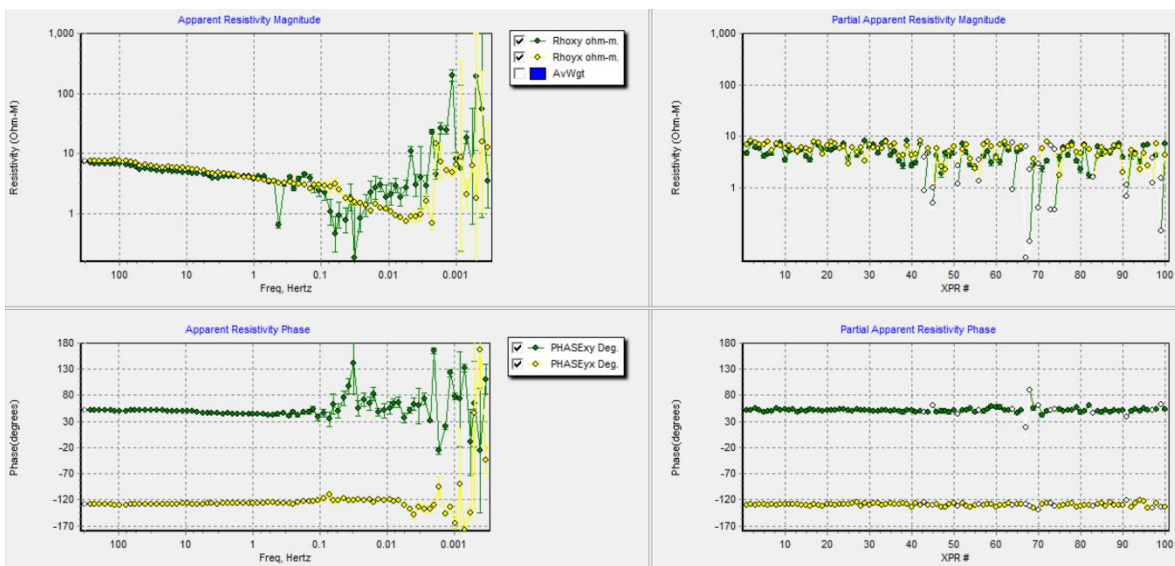
Noise lokal secara umum dapat dihilangkan dengan melakukan pengukuran secara simultan pada sejumlah stasiun pengukuran kemudian melakukan analisis *remote reference* (Gamble, et al., 1979). Pada pembahasan ini digunakan metode *local reference*, yang merupakan modifikasi dari metode *remote reference*. Berbeda dengan metode *remote reference* yang menggunakan data dari stasiun di daerah yang berbeda dengan daerah penelitian, pada metode *local reference* digunakan sinyal dari stasiun di daerah penelitian yang sama. Metode ini menggunakan data medan magnetik dari stasiun lain untuk dijadikan nilai medan magnetik lokal berdasarkan asumsi bahwa medan magnetik memiliki nilai regional.

HASIL DAN PEMBAHASAN

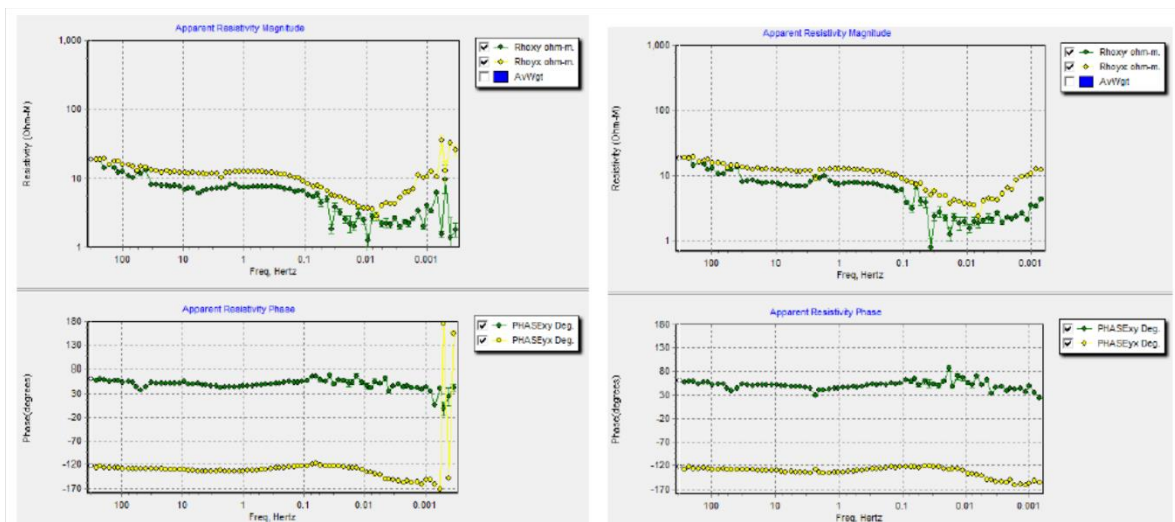
Proses *robust* dan transformasi Fourier dilakukan menggunakan *software* SSMT2000, sedangkan untuk menentukan *noise* koheren pada data digunakan *software* Synchro Time series View. Nilai koherensi data untuk data mentah, data hasil *robust* processing, data hasil seleksi *time series*, dan data hasil analisis *local reference* diperoleh menggunakan *software* MTEditor. Adapun data nilai koherensi untuk setiap metode pengolahan tersebut ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 1. Nilai koherensi data untuk berbagai metode pengolahan data.

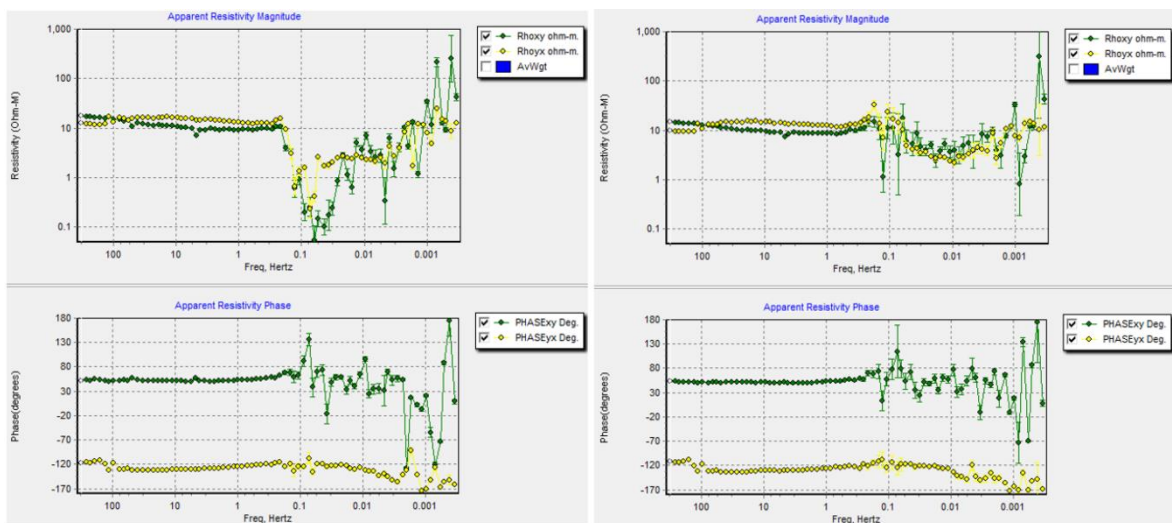
SITE	COHERENCY (%)			
	RAW	ROBUST	TIME SERIES	LOCAL REFERENCE
KT12	72.75623	86.70331	84.51604	87.73836
KT22	96.71724	97.23713	97.36477	97.21596
KT26	69.82106	82.87036	83.30254	84.38748
KT27	89.74466	90.84462	91.86923	90.62255
KT28	81.81413	93.3478	93.43437	92.96694
KT30	96.40372	97.09512	94.27362	98.30578
KT31	92.36232	93.73483	94.17645	87.99797
KT32	78.14951	81.51724	82.17129	75.11215
KT34	85.52933	88.69325	88.69904	91.1926
KT35	77.37818	84.75014	86.10326	85.86581
KT36	76.29234	83.13551	83.22071	81.95857
KT37	79.74139	82.03255	76.7448	82.62575
KT38	75.37807	82.95527	85.04145	82.55126



Gambar 3. Kurva resistivitas semu TE & TM, fasa, dan *cross power* setelah dilakukan proses *robust*.



Gambar 4. Kurva resistivitas semu dan fasa sebelum (kiri) dan sesudah (kanan) dilakukan analisis *time series*.



Gambar 5. Kurva resistivitas semu dan fasa sebelum (kiri) dan sesudah (kanan) dilakukan analisis *local reference*.

Berdasarkan data pada Tabel 1 diketahui bahwa dari 13 stasiun pengukuran terdapat 8 stasiun yang mengalami peningkatan nilai koherensi setelah dilakukan analisis *time series* yakni stasiun KT22, KT27, KT28, KT31, KT32, KT35, KT36, dan KT38. Kemudian terdapat 5 stasiun pengukuran yang nilai koherensinya meningkat setelah dilakukan analisis *local reference*, yakni stasiun KT12, KT26, KT30, KT34, dan KT37. Peningkatan nilai koherensi untuk data yang dilakukan analisis *time series* bervariasi mulai dari 0.67 % (KT22) hingga 19.3 % (KT26). Sedangkan peningkatan nilai koherensi data yang dilakukan analisis *local reference* berkisar antara 0.5% (KT22) hingga 20.86 % (KT26).

Gambar 3 menunjukkan kurva resistivitas semu TE & TM dan fasa (kiri) serta *cross power* (kanan) setelah dilakukan proses *robust*. Kurva resistivitas semu dan fasa mode TE (*transverse electric*) ditunjukkan oleh titik-titik berwarna hijau, sedangkan kurva untuk mode TM (*transverse magnetic*) ditunjukkan oleh titik-titik berwarna kuning. Seperti yang telah dijelaskan, *cross power* merupakan segmen data yang telah diubah domainnya menjadi domain frekuensi. Kemudian dilakukan proses *robust* pada data *cross power* untuk menghilangkan data *outlier* yang ditunjukkan dengan titik berwarna putih.

Kemudian berdasarkan kurva resistivitas semu dan fasa untuk mode TE dan TM pada Gambar 4 dan 5, terlihat bahwa secara umum kualitas data meningkat setelah dilakukan proses analisis *time series* dan analisis *local reference*. Hal ini ditunjukkan oleh kurva resistivitas semu dan fasa yang lebih halus (*smooth*) dibandingkan kurva sebelum dilakukan analisis *time series* dan *local reference*.

KESIMPULAN

Pada setiap data hasil pengukuran atau survei magnetotelurik tentu akan terdapat *noise*, baik *noise* koheren maupun non-koheren. Adanya *noise* ini dapat mengurangi kualitas data yang berakibat pada hasil pemodelan bawah permukaan yang kurang sesuai dengan kondisi geologis yang sebenarnya. Oleh karena itu diperlukan adanya peningkatan kualitas data dalam tahap *pre-processing*. Analisis *time series* dan *local reference* yang telah dibahas dapat meningkatkan kualitas data (ditunjukkan oleh nilai koherensi data yang meningkat), terutama untuk data yang memiliki banyak *noise* sehingga diharapkan mampu memberikan informasi mengenai struktur bawah permukaan secara lebih akurat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Survei Geologi dan Departemen Fisika Institut Teknologi Bandung atas dukungan akademik dan fasilitasnya dalam penelitian ini.

REFERENSI

1. Cagniard, L., *Basic Theory of the Magnetotelluric Method of Geophysical Prospecting*, Geophysics 18: 605-645 (1953)

2. Manoj, C., *Magnetotelluric Data Analysis Using Advances In Signal Processing Techniques*. Department of Geophysics, Osmania University (2003)
3. Peacock, Jared, *Magnetotelluric Monitoring*. School of Earth and Environmental Science, University of Adelaide (2012)
4. Rusbiyanto, Andy, *Reduksi Noise Pada Pemrosesan Data Magnetotellurik (MT) dengan Menggunakan Remote Reference*, Program Studi Fisika, Universitas Indonesia (2011)
5. Simpson, F., & Bahr, K., *Practical Magnetotellurics*. Cambridge University Press. United Kingdom (2005)
6. Vozoff, K., *The Magnetotelluric Method, Electromagnetic Method in Applied Geophysics-Application*. Society of Exploration Geophysicist, United States of America (1991)
7. Yamane, K., and Takasugi, S., *Data Processing Procedures for Minami-Kayabe Magnetotelluric Soundings*. Geothermal Energy Research and Development Co., Ltd., Japan (1997)