



## THE DIFFERENT MAGNETIC RESULTS OF ANEMI AND PPM MEASUREMENTS ON THE BURIED REMAINS OF A 13<sup>TH</sup> CENTURY FORTRESS\*

Muhammad Yanis\*<sup>1</sup>, Marwan<sup>2</sup>, Bukhari<sup>3</sup>, Nazli Ismail<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Master of Physics Department, Postgraduate Studies, Syiah Kuala University, Indonesia

<sup>2</sup>Geoscience Department, Engineering Faculty, Syiah Kuala University, Indonesia

<sup>3</sup>Physics Department, Faculty of Mathematic and Natural Sciences, Syiah Kuala University, Indonesia

\*E-mail: yanislancok46@gmail.com

**Abstract.** This study aimed to evaluate the different magnetic results of an electromagnetic induction with proton magnetometer measurements on an archaeological site. The electromagnetic induction allows measuring both the apparent magnetic susceptibility in part per thousand (ppt) and the apparent electrical conductivity in millisiemens (mS/m). A proton magnetometer measures the total magnetic intensity in nanotesla (nT), caused by the induced and remanent magnetisations. An archaeological site where historical documents indicated the presence of a 13<sup>th</sup> century fortress that built by Lamuri Sultanate was selected as a test area. The measurement were conducted by divided the study area into 10 profiles. Some standard data processing have been applied to the measured data. The result of the first survey with electromagnetic induction showed low magnetic anomalies in the buried remains of Lamuri fortress. The similar value are shown as well by low magnetic field intensity in magnetometer measurement.

**Keywords:** electromagnetic induction, magnetic, archaeology.

### I PENDAHULUAN

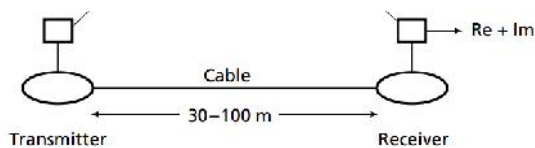
Perkembangan metode geofisika yang pesat di Indonesia mulai digunakan dalam berbagai aspek kajian ilmu, salah satunya bidang arkeologi. Sala, *et al.*, (2012) menyebutkan bahwa hasil yang diperoleh dari eksplorasi geofisika dapat memberikan informasi awal untuk proses eskavasi secara tepat. Sifat kemagnetan suatu bahan dapat digunakan untuk membedakan lokasi akibat gangguan manusia dipermukaan tanah. Oleh karena itu proton magnetometer terkenal handal digunakan dalam kajian arkeologi (Ma, *et al.*, 2012). Peralatan ini mengukur variasi intensitas medan magnetik yang berbanding lurus terhadap suseptibilitas magnetik suatu bahan.. Sedangkan pemanfaatan metode induksi elektromagnetik (EMI) untuk kajian arkeologi masih relative sedikit yang dipublikasi, misalnya Beauchaine, *et al.*, 2006 mencari prospek benda-benda arkeologi di sungai Valley berdasarkan distribusi konduktivitas bawah permukaan, metode ini juga telah berhasil digunakan untuk merekonstruksi model 3D sungai purba di Belgia (De Smedt, *et al.*, 2013). Pada umumnya survey induksi elektromagnetik masih terbatas pada lokalisasi anomali berdasarkan sifat konduktivitas listrik bawah permukaan, padahal secara teoritik komponen inphase dan outphase pada peralatan induksi elektromagnetik mampu mengukur sifat

konduktivitas listrik dan suseptibilitas magnetik secara bersamaan. Dimana baik itu suseptibilitas magnetik maupun intensitas magnetik yang diperoleh dari pengukuran proton magnetometer sangat berkaitan dengan sifat kemagnetan anomali bawah permukaan (Tabbag, 1984). Dalam kasus arkeologi hasil penelitian Simpson, *et al.*, (2009) menunjukkan hubungan yang linear antara respon induksi elektromagnetik dengan fluxgate gradiometer, hasil tersebut dibuktikan dengan pola kontur yang sama dari kedua metode tersebut. Sedangkan pada kasus lain Tabbag, (1984) membandingkan data kedua metode tersebut berdasarkan perhitungan matematis, namun hasil menunjukkan adanya perbedaan respon terhadap benda anomali magnetik. Bagaimanapun perbandingan data induksi elektromagnetik dengan magnetik tidak selalu menunjukkan hubungan yang linear terhadap sifat kemagnetan anomali bawah permukaan. Berdasarkan pengukuran lapangan, Simpson, *et al.*, (2009) menyebutkan bahwa metode induksi elektromagnetik lebih mudah digunakan untuk mengukur sifat kemagnetan anomali bawah permukaan dibandingkan proton magnetometer. Oleh demikian pada penelitian ini penulis membandingkan respon sifat kemagnetan anomali bawah permukaan berdasarkan pengukuran induksi elektromagnetik dengan proton magnetometer. Studi kasus penelitian ini terdapat pada benteng Kuta

Lubok. Benteng ini merupakan bekas Kerajaan Lamuri yang memerintah abad 13 masehi. Selain rusak akibat tsunami 2004 yang melanda Aceh, bangunan ini diperparah oleh aktivitas tektonik yang terletak pada jalur patahan Sumatera (Sieh, *et al.*, 2015).

## II METODELOGI

Seperti halnya metode elektromagnetik lainnya, induksi elektromagnetik didasarkan pada persamaan Maxwell yang menunjukkan hubungan linear antara medan magnet dengan listrik. Metode ini membutuhkan dua buah koil kumparan, yaitu transmitter dan receiver untuk pendugaan benda di bawah permukaan. Sedangkan jarak antar koil berfungsi untuk mendapatkan batas kedalaman penerobosan elektromagnetik. Selain itu susunan koil pada peralatan ini juga mempengaruhi sensitifitas daripada target benda bawah permukaan (Kearey, *et al.*, 2002). Susunan peralatan induksi elektromagnetik secara lengkap ditunjukkan pada Gambar 1. Pada kasus ini saya menggunakan peralatan CMD-4 dengan susunan coil horizontal coplanar dan jarak antar coil yaitu 3 meter, dengan demikian maksimal kedalaman yang diperoleh yaitu 4 meter (GF Instrument, 2006).



Gambar 1. Susunan peralatan induksi elektromagnetik.

Parameter yang terukur pada komponen inphase dari metode induksi elektromagnetik yaitu nilai susceptibilitas magnetik dalam part per thousand (ppt), secara matematis dapat ditunjukkan:

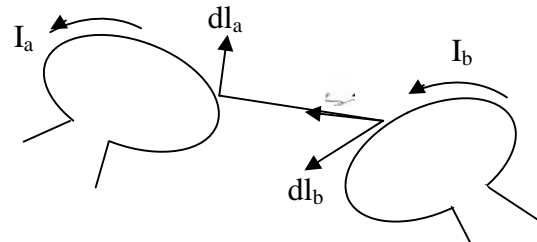
$$\kappa = \frac{-2I}{I+G} \quad (1)$$

Dimana  $\kappa$  merupakan susceptibilitas magnetik,  $I$  sebagai respon daripada komponen *inphase*, dan  $G$  adalah faktor geometri pada coil pemisah antara receiver dengan transmitter dan jarak diatas permukaan tanah (Clay, 2001). Gagasan potensial Newtonian dapat diterapkan untuk landasan teori medan magnetik. Dua buah titik massa dianalogikan dengan dua buah *loop* kecil yang terpisah dalam jarak  $r$  dan masing – masing berarus listrik  $I_a$  dan  $I_b$  (Gambar 2). Dimana gaya yang bekerja pada massa suatu *loop* berbanding lurus terhadap moment magnetik dan berbanding terbalik terhadap kuadrat jarak  $r$ . Sedangkan induksi medan magnetik yang terukur di lapangan berbanding lurus terhadap

intensitas medan magnetik dalam nanotesla (nT), secara matematis dapat ditunjukkan:

$$B = \mu H \quad (2)$$

Dimana  $\mu$  merupakan permeabilitas yang menunjukkan sifat magnetik material terukur.



Gambar 2. Interaksi antara dua buah *loop* yang dialiri arus listrik

Secara matematis, susceptibilitas magnetik  $\kappa$  yang diperoleh dengan induksi elektromagnetik, dan permeabilitas magneti  $\mu$  dalam proton magnetometer dapat didekati melalui persamaan;

$$\mu = \mu_0 (1 + \kappa) \quad (3)$$

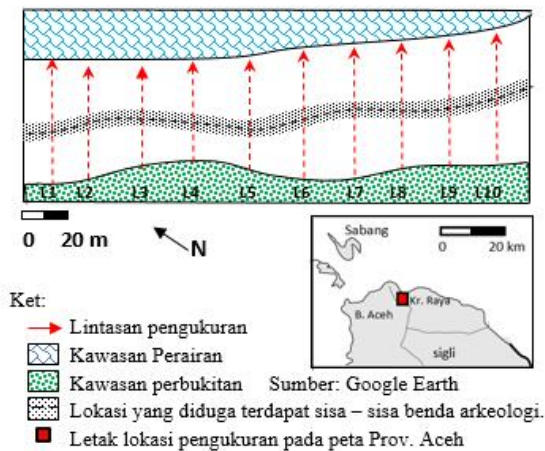
Dengan demikian nilai susceptibilitas magnetik yang terukur dari induksi elektromagnetik dapat menunjukkan sifat kemagnetan suatu material dibawah permukaan (De Smedt, 2013).

Lokasi penelitian terletak di Desa Lamreh, Kecamatan Masjid Raya, Kabupaten Aceh Besar. Berdasarkan peta geologi dinas pertambangan, deformasi batuan di lokasi ini berupa bongkahan gunungapi yaitu tufaan dan andesit. Untuk mendapatkan perbedaan respon kemagnetan benda arkeologi dengan keadaan sekitar, lintasan pengukuran dibuat memotongi daripada target yang dicari. Metode induksi elektromagnetik diukur dengan CMD-4 buatan GF-Instrument. Sedangkan magnetometer GSM-19 dengan sensitivitas yang sangat tinggi yaitu 0.022 nT (GEM Systems, 2008). Data penelitian diakuisisi pada 10 lintasan. Jarak antar-stasiun dibuat 5 meter, sedangkan jarak antar-lintasan yaitu 20 meter. Secara keseluruhan dapat diperoleh  $\pm 70$  titik data untuk setiap metode. Gambaran lokasi pengukuran secara rinci ditunjukkan oleh Gambar 3.

## III HASIL DAN PEMBAHASAN

Intensitas magnetik hasil pengukuran proton magnetometer masih dipengaruhi oleh medan internal dan eksternal bumi. Pengaruh tersebut dapat dihilangkan dengan koreksi variasi harian untuk medan eksternal, dan koreksi medan utama magnet

bumi (IGRF) untuk medan internal. Sehingga diperoleh data anomali medan magnetik yang bersumber dari target yang dicari.



Gambar 3. Desain lintasan pengukuran Induksi elektromagnetik dengan Proton magnetometer.

Pada metode induksi elektromagnetik data suseptibilitas yang terukur terlebih dahulu difilter dengan high pass. Filter ini bertujuan untuk membuang efek benda-benda lain dekat permukaan. Perbandingan data intensitas medan magnetik dan suseptibilitas magnetik ditunjukkan oleh Gambar 4.

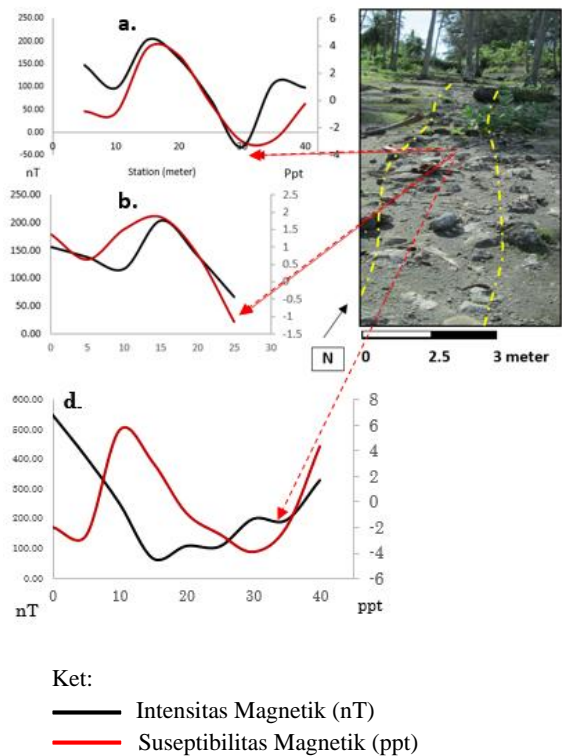
Berdasarkan respon yang diperoleh pada kedua data pengukuran, misalnya profile 1 dan 2. Pada jarak pengukuran 0-20 meter dari lintasan 1 dan 2, terdapat respon kemagnetan baik itu suseptibilitas maupun intensitas magnetik yang bernilai tinggi. Sedangkan pada jarak pengukuran dimana terdapat sebaran benda – benda arkeologi ditunjukkan oleh nilai rendah dari kedua data tersebut. Secara keseluruhan maka respon yang diperoleh dari data suseptibilitas magnetik berkorelasi dengan intensitas magnetik. Namun pada lintasan pengukuran ke-3, respon yang diperoleh berbeda antara nilai intensitas dengan suseptibilitas magnetik. Misalnya pada lokasi yang diduga terdapat benda arkeologi yaitu titik 25 meter, sehingga hal ini dapat menyulitkan dalam menentukan lokasi benda-benda arkeologi secara tepat.

De Smedt (2013) menyatakan bahwa total intensitas medan magnetik yang terukur dapat dipengaruhi oleh sudut inklinasi, deklinasi dan arah remanent magnetisasi dari suatu bahan. Sedangkan hal yang berlawanan pada induksi elektromagnetik, dimana suseptibilitas magnetik yang diperoleh tanpa melibatkan arah remanent magnetisasi. Nabighian (1972) memperkenalkan metode sinyal analitik (AS) terhadap data intensitas magnetik yang tidak sensitif terhadap arah remanent magnetisasi anomali terukur.

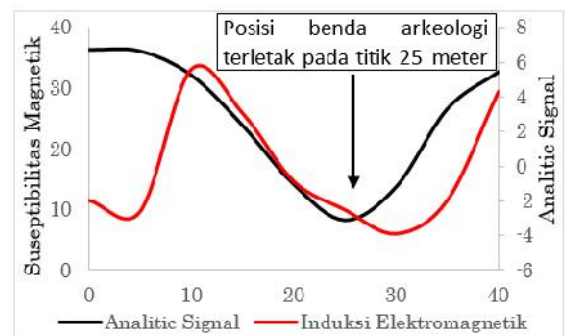
Secara matematis, sinyal analitik dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$AS(x, z) = \sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial z}\right)^2} \quad (4)$$

Dimana  $T$  merupakan intensitas anomali medan magnetik terukur, sedangkan  $\partial x$  sebagai derivative pada arah  $x$  dan  $\partial z$  sebagai turunan derivative terhadap arah  $z$  (Ma, *et al.*, 2012). Perbandingan data sinyal analitik dari intensitas magnetik terhadap suseptibilitas magnetik ditunjukkan oleh Gambar 5.



Gambar 4. Respon sifat kemagnetan benda arkeologi dari metode induksi elektromagnetik dan proton magnetometer, (a.) profile lintasan pengukuran 1, (b.) profile ke-2, (c.) Jejak benda arkeologi yang terdapat dilapangan.



Gambar 5. Perbandingan data analitik sinyal terhadap suseptibilitas magnetik pada profile 3.

Pada lintasan pengukuran ke-3, data intensitas yang diperoleh tidak sama dengan susceptibilitas (Gambar 4.d), sedangkan setelah proses sinyal analitik, data intensitas dari PPM dapat diperoleh respon yang berkorelasi sama dengan susceptibilitas magnetik. Misalnya pada jarak 25 meter, sehingga respon tersebut dapat memudahkan dalam identifikasi benda – benda arkeologi bawah permukaan.

## **KESIMPULAN**

Berdasarkan interpretasi data kedua metode dapat disimpulkan bahwa nilai susceptibilitas magnetik yang diperoleh berkorelasi dengan intensitas magnetik pada proton magnetometer. Kedua metode ini dapat dimanfaatkan dalam penentuan lokasi benda arkeologi sisa – sisa Kerajaan Lamuri. Benteng Kuta Lubok memiliki nilai intensitas dan susceptibilitas yang rendah.

## **REFERENSI**

1. Clay, R. B. 2001. *Conductivity (EM) Survey: A Survival Manual*, Cultural Resource Analyst Inc.
2. De Smedt, P. 2013. Reconstructing human-landscape interactions through multi-receiver electromagnetic induction survey, PhD thesis, Ghent University.
3. GEM Systems. 2008. *Instruction Manual of Magnetometer GSM-19*, Inc. Advanced Magnetometers.
4. Kearey, P., Brooks, M., Hill, Ian. 2002. *An Introduction to Geophysical Exploration*. Hong Kong: Blackwell Publisher.
5. Ma Guo-Qing, *et al.* 2012. Interpretation of magnetic anomalies by horizontal and vertical derivatives of the analytic signal. *Applied Geophysics*. Vol.9: 468 - 474,.
6. Nabighian, M.N., 1972. The analytical signal of 2D magnetic bodies with polygonal cross-section: Its properties and use for automated anomaly interpretation. *Geophysics*, 37, pp.507-517.
7. Philip Kearey, Michael Brooks, Ian Hill. 2002. *An Introduction to Geophysical Exploration*. Hong Kong: Blackwell Publisher.
8. Simpson. D., Lehouck. A., Verdonck. L. 2009. Comparison between electromagnetic induction and fluxgate gradiometer measurements on the buried remains of a 17th century castle. *Journal Applied Physics*
9. Sala, R., Garcia, E., and Tamba, R. 2012. Archaeological Geophysics - From Basics to New. In I. Ollich-Castanyer, *Archaeology, New Approaches in Theory and Techniques* (p. 292). Rijeka, Croatia: InTech.
10. Sieh, K., Patrick D, McKinnon, E. E., Jessica, E. Pilarczyk., Hong-Wei Chiang., Benjamin, Horton., Charles, M. Rubin., Ismail. N. 2015. Penultimate predecessors of the 2004 Indian Ocean tsunami in Aceh, Sumatra: Stratigraphic, archeological, and historical evidence. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, Volume 120.