

## IDENTIFIKASI SEDIMEN PIROKLASTIK PADA KAWAH TENGER GUNUNG BROMO MENGUNAKAN METODE RESISTIVITAS 2D

Wien Lestari, Anik Hilyah, Firman Syaifuddin, Juan Pandu GNR, Adib Banuboro, Alif  
Prabawa Arwananda, dan Dara Felisia A

Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

wien.geofisika@gmailcom

**Abstrak.** Gunung Bromo merupakan bagian dari gunung berapi aktif yang mengelilingi Kaldera Bromo Tengger. Untuk mengidentifikasi jenis sedimen yang diendapkan dari tipe erupsi letusannya, maka dilakukan pengukuran geofisika menggunakan pencitraan resistivitas 2D dengan konfigurasi Wenner. Penampang Resistivitas akan menunjukkan sejarah proses sedimentasi di kaldera tengger yang dapat menjelaskan bagaimana kaldera tengger terbentuk. Hasil yang diperoleh dari pemodelan inversi dengan empat data di lokasi pengukuran yang berbeda dapat digunakan untuk mengetahui sejarah Gunung Bromo. Dengan demikian, dapat diinterpretasikan bahwa lapisan pertama, kedua, dan ketiga memiliki rentang nilai resistivitas antara 12 - 55,3 Ohm meter pada kedalaman antara 0 - 1.3 meter dengan litologi sedimen piroklastik dan tipe lapil abu, 36 - 207 Ohm meter pada sebuah Kedalaman antara 1,3 - 1,8 meter dengan sedimen pyroclastic padat dan jenis tuf, dan 207 - 682 Ohm meter pada kedalaman antara 1,82,15 meter dengan sedimen piroklastik padat dan tipe lapilli kasar. Lapisan pertama ketebalan sedimen piroklastik dapat diketahui dengan mengasumsikan itu adalah produk letusan terakhir Gunung Bromo, untuk memantau aktivitas letusan Gunung Bromo dapat dilakukan perhitungan volume sediment piroklastik.

**Kata Kunci :** Sedimen Piroklastik, Resistivitas 2D, Kawah Tengger, Gunung Bromo.

**Abstract.** Mount Bromo is part of active volcanoes surrounding Bromo Tengger Caldera. In order to identify the type of deposited sediment from its explosive-type eruption, geophysical measurement is performed by using 2D resistivity imaging with Wenner configuration. 2D Resistivity section will show the history of sedimentation process in Tengger caldera which can explain how the Tengger caldera formed. The results obtained from inversion modeling of four data with different measurement locations can be used to know historical past of Mount Bromo. Thus, it can be interpreted that the first, second, and third layer has a resistivity value between 12 – 55.3 Ohm meter at a depth between 0 – 1.3 meters with pyroclastic sediments lithology and ash lapilli type, 36 – 207 Ohm meter at a depth between 1.3 – 1.8 meter with compacted pyroclastic sediments and tuff type, and 207 – 682 Ohm meter at a depth between 1.8 – 2.15 meter with compacted pyroclastic sediments and coarse lapilli type, respectively. After the first layer thickness of pyroclastic sediment is known by assuming it as the product of Mount Bromo last eruption, pyroclastic sediment volume can be calculated to monitor the activity of Mount Bromo eruption.

**Keywords :** Pyroclastic Sediments, 2D Resistivity, Tengger Caldera, Mount Bromo.

### PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara kepulauan dengan setting tektonik yang kompleks, yang menyebabkan banyak pulau di Indonesia masih memiliki gunung berapi aktif hingga saat ini. Gunung Bromo adalah salah satu gunung berapi yang aktif dan digunakan sebagai kawasan wisata. Gunung Bromo terletak di Jawa Timur, Indonesia dengan aktivitas terakhir terjadi pada bulan Maret - April 2016. Gunung itu

sendiri merupakan bagian dari kompleks Kaldu Tengger. Zona vulkanik Gunung Bromo sedang mengumpulkan zona material vulkanik dari pelapukan dan letusan Gunung Bromo. Ada dampak letusan yang dikenal dengan sebutan endapan piroklastik. Proses ini mengindikasikan sedimentasi material vulkanik Gunung Bromo. Selanjutnya, fasies gunung berapi dapat diidentifikasi dari proses ini (Sigurdsson, 2000).

Beberapa penelitian dilakukan untuk deposit piroklastik dengan menggunakan metode resistivitas (baik Vertical Electrical Sounding atau pemetaan) (De Vita, 2006), yang menunjukkan kemungkinan menggunakan metode resistivitas untuk menentukan endapan sedimen piroklastik di sekitar Gunung Bromo. Resistivitas semu yang tampak merupakan hasil dari metode resistivitas yang bergantung pada kemampuan materialnya untuk mengalirkan arus listrik, yang akan bervariasi untuk setiap batuan piroklastik, mengingat setiap batuan memiliki ukuran butir, sortasi, dan ketebalan yang berbeda (Einsele, 1992).

Penulis ingin menerapkan metode geofisika sebagai studi pendahuluan untuk mengidentifikasi sedimen piroklastik Gunung Bromo. Hasil metode geofisika akan dikombinasikan dengan observasi lapangan sebagai perbandingan. Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk menerapkan metode resistivitas 2D untuk pemetaan hasil aktivitas erupsi terbaru dengan menghitung ketebalan lapisan permukaan.

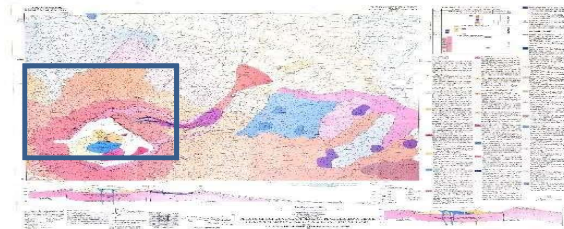
## TINJAUAN PUSTAKA

### Geologi Regional

Gunung Bromo mempunyai ketinggian 2.392 meter di atas permukaan laut, Gunung Bromo juga mempunyai sebuah kawah dengan garis tengah  $\pm 800$  meter (utara-selatan) dan  $\pm 600$  meter (timur-barat). Sedangkan daerah bahayanya berupa lingkaran dengan jari-jari 4 km dari pusat kawah Bromo. Bentuk tubuh Gunung Bromo bertautan antara lembah dan ngarai dengan kaldera atau lautan pasir seluas sekitar 10 kilometer persegi. Gunung Bromo berada dalam empat wilayah, yakni Kabupaten Probolinggo, Pasuruan, Lumajang, dan Kabupaten Malang (Kaehlig, 2012).

Batuan vulkanik yang menyusun dasar kaldera Bromo - Tengger (pada lautan pasir) terdiri dari : pasir vulkanik Tengger yang berukuran butir pasir kasar – kerikil; bom vulkanik, dan juga batuapung. Komposisi pasir vulkanik dalam kaldera sebagian besar terdiri dari : plagioklas, hornblende, piroksen, magnetit, dan sebagian kecil zirkon dan kyanit. Pada kawah Bromo (yang aktif) nampak kurang berkembang endapan belereng, namun demikian

asap yang keluar dari 4 kawah aktif tersebut mengandung gas sulfur dengan konsentrasi relatif tinggi (asap tersebut nampak sangat pekat dan sangat menyengat). Pada dasar kaldera bagian timurlaut, setempat dijumpai basalt vesikuler yang berujud bom-bom vulkanik. Sementara pada dinding luar dari kerucut vulkanik Bromo (yang aktif) dan G.Batok, dijumpai batuan piroklastik, dan endapan abu gunungapi. Pada dinding kaldera Tengger, yang dijumpai pada jalur Cemorolawang maupun jalur Penanjakan, sangat didominasi oleh endapan freatomagmatik, fragmen lava andesit basaltik, selang-seling piroklastik jatuhnya dan piroklastik aliran, juga sisipan endapan abu vulkanik. Endapan piroklastik di jalur G.Penanjakan maupun jalur Cemorolawang ini, menunjukkan fragmen tersusun oleh klastika dari bom-bom vulkanik, lapili, dengan matrik yang sangat pekat dari pasir-pasir vulkanik yang relatif berukuran butir kasar, dan bentuk butir runcing – agak runcing (Kaehlig, 2012).



Gambar 1. Peta Geologi Regional Kawah Tengger

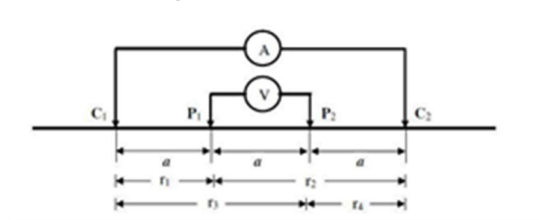
Berdasarkan kenampakan morfologis, Gunung Bromo tergolong gunung komposit kuarter karena fasiesnya yang mudah diklasifikasikan. Pusat kawah dapat diidentifikasi sebagai fasies sentral. Dari puncak gunung ke lereng dapat diidentifikasi masing-masing sebagai proksimal, medial, dan distal fasies (Zaennudin, 1990).



Gambar 2. Facies of Mount Bromo-Tengger

**Metode Resistivitas 2D**

Resistivity adalah salah satu metode geofisika yang digunakan untuk menginterpretasi bawah permukaan tanah dengan menggunakan konsep fisika dan tanpa merusak material-material tersebut. Prinsip metode resistivitas yaitu arus listrik diinjeksikan ke dalam bumi melalui dua elektroda arus, sedangkan beda potensial yang terjadi diukur melalui dua elektroda potensial. Konfigurasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah konfigurasi Wenner, elektrode arus dan elektrode potensial diletakkan seperti pada gambar di bawah. Dalam hal ini, elektrode arus dan elektrode potensial mempunyai jarak yang sama yaitu  $C1P1 = P1P2 = P2C2 = a$ . Jadi jarak antar elektrode arus adalah tiga kali jarak antar elektrode potensial. Perlu diingat bahwa keempat elektrode dengan titik datum harus membentuk satu garis.



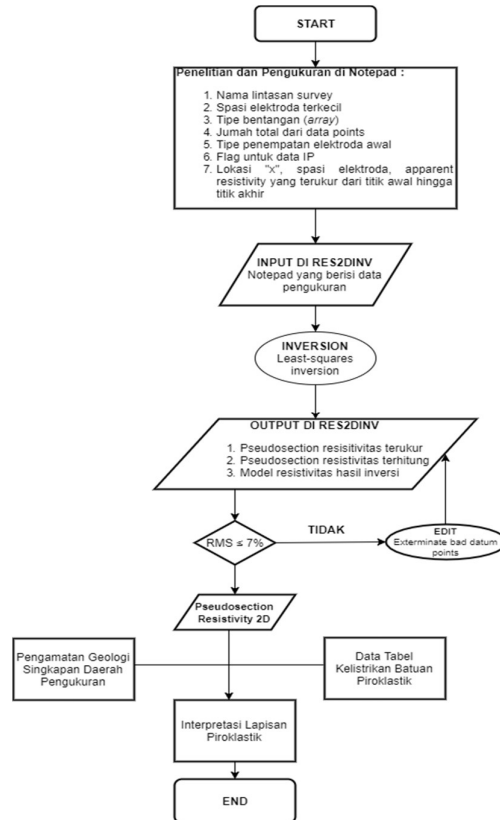
Gambar 3. Ilustrasi Konfigurasi Wenner Tengger

Nilai resistivitas diperoleh berdasarkan dari data perbedaan arus potensial listrik di lapangan. Nilai resistivitas semu digunakan untuk memodelkan permukaan bawah permukaan, dengan menggunakan persamaan dari (Loke, 1999).

$$\rho_a = \frac{\Delta V \cdot K}{I} \tag{1}$$

Setiap konfigurasi memiliki faktor geometri yang berbeda, dalam penelitian ini faktor geometri wenner yang digunakan

$$K = 2\pi \left( \frac{1}{AB} - \frac{1}{MN} - \frac{1}{AB} - \frac{1}{MN} \right) \tag{2}$$



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

**METODOLOGI PENELITIAN**



Gambar 5. Desain Akuisisi Pemetaan Resistivitas 2D (source : Google Earth)

Akuisisi data dilakukan di lingkungan pengendapan kawah tengger tepatnya di aliran sungai lahar. Konfigurasi yang digunakan pada akuisisi dengan metode resistivitas 2D ini adalah konfigurasi wenner dengan panjang lintasan sepanjang 36 meter. Penetrasi kedalaman maksimal yang didapat setebal dinding sungai alian lahar bromo sebesar 2.69 meter.

Peralatan yang digunakan dalam pengukuran lapangan diantaranya :

- a. 1 set Resistivitimeter
- b. 1 set Meteran
- c. 1 set Palu
- d. Elektroda
- e. Kabel Roll
- f. 1 buah GPS
- g. Multimeter Digital
- h. Aki

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Dari pengukuran yang telah dilakukan diperoleh empat penampang 2D resistivity disepanjang sungai aliran lahar gunung bromo.masing masing line tersebut diberi nama line1 ,line2, line3, dan line4 . Analisa data didasarkan pada studi singkapan dilokasi pengukuran dengan tujuan untuk mengkorelasikan hasil studi statigrifi dengan metode geofisika. Berikut merupakan tabel yang memperlihatkan nilai resisitivitas pada batuan yang ditemukan di daerah penelitian.

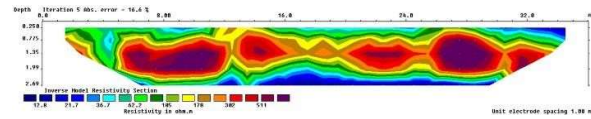
Tabel 1. Nilai Resistivitas dari beberapa batuan, mineral dan unsur kimia (Loke, 1999).

Material	Resistivity ( $\Omega \cdot m$ )	Conductivity (Siemen/m)
<b>Igneous and Metamorphic Rocks</b>		
Granite	$5 \times 10^3 - 10^6$	$10^{-6} - 2 \times 10^{-4}$
Basalt	$10^3 - 10^6$	$10^{-6} - 10^{-3}$
Slate	$6 \times 10^2 - 4 \times 10^7$	$2.5 \times 10^{-8} - 1.7 \times 10^{-3}$
Marble	$10^2 - 2.5 \times 10^8$	$4 \times 10^{-9} - 10^{-2}$
Quartzite	$10^7 - 2 \times 10^8$	$5 \times 10^{-7} - 10^{-2}$
<b>Sedimentary Rocks</b>		
Sandstone	$8 - 4 \times 10^3$	$2.5 \times 10^{-4} - 0.125$
Shale	$20 - 2 \times 10^3$	$5 \times 10^{-4} - 0.05$
Limestone	$50 - 4 \times 10^2$	$2.5 \times 10^{-3} - 0.02$
<b>Soils and waters</b>		
Clay	1 - 100	0.01 - 1
Alluvium	10 - 800	$1.25 \times 10^{-3} - 0.1$
Groundwater (fresh)	10 - 100	0.01 - 0.1
Sea water	0.2	5
<b>Chemicals</b>		
Iron	$9.074 \times 10^8$	$1.102 \times 10^7$
0.01 M Potassium chloride	0.708	1.413
0.01 M Sodium chloride	0.843	1.185
0.01 M acetic acid	6.13	0.163
Xylene	$6.998 \times 10^{16}$	$1.429 \times 10^{-17}$

**Line 1**

Pada pengukuran di lintasan pertama nilai resistivitas menghasilkan 3 perlapisan dengan rentang nilai, untuk Lapisan pertama dengan kisaran nilai resistivitas 12-36 ohm.m yang terdapat pada kedalaman 2-2.69 meter dan pada kedalaman 00.775 meter. Kemudian, lapisan kedua dengan kisaran nilai resistivitas 36-105 ohm.m yang terdapat pada kedalaman 0.775-1 meter dan pada kedalaman 1.35-2 meter. Lapisan atau endapan terakhir merupakan endapan dengan nilai resistivitas tertinggi, yaitu pada kisaran 300-500

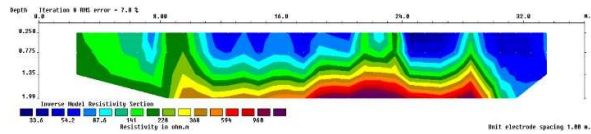
ohm.m yang terdapat pada kedalaman 0.775-2 meter pada jarak 8 meter dan 27 meter.



Gambar 6. Penampang Resistivitas di Line 1

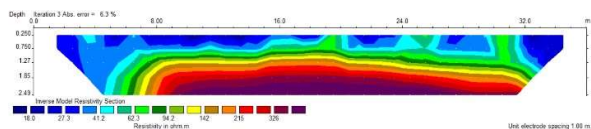
**Line 2**

Pada pengukuran di lintasan kedua nilai resistivitas menghasilkan 4 perlapisan dengan rentang nilai, untuk Lapisan pertama dengan kisaran nilai resistivitas 33,6 ohm.m yang terdapat pada kedalaman 0.25 hingga 1.35 meter. Kemudian, lapisan kedua dengan kisaran nilai resistivitas 87.6 -141 ohm.m yang terdapat pada kedalaman 0.25 meter hingga pada kedalaman 1.35 meter. Lapisan ketiga merupakan endapan dengan nilai resistivitas dengan rentang 228-594 ohm.meter di kedalaman 1.35 meter hingga 1.80 meter. Lapisan keempat merupakan endapan dengan nilai resistivitas dengan rentang 594-960 ohm.meter yang terdapat pada kedalaman 1.80 meter sampai dengan 1.99 meter.



Gambar 7. Penampang Resistivitas di Line 2

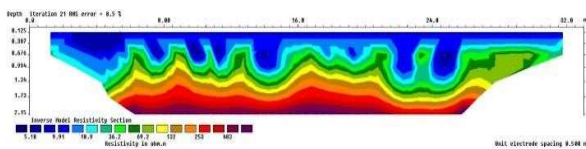
Pada pengukuran di lintasan ketiga nilai resistivitas menghasilkan 3 perlapisan dengan rentang nilai, untuk Lapisan pertama dengan kisaran nilai resistivitas 14.5-53.4 ohm.m yang terdapat pada kedalaman 0-0.0775 meter dan 22.69 meter. Kemudian, lapisan kedua dengan kisaran nilai resistivitas 53.4-124 ohm.m yang terdapat pada kedalaman 0.775-1 meter dan 1.35-2 meter. Lapisan ketiga merupakan endapan dengan nilai resistivitas dengan rentang 124-300 ohm.m ohm.meter yang terdapat pada kedalaman 0.775-2 meter.



Gambar 8. Penampang Resistivitas di Line 3

#### Line 4

Pada pengukuran di lintasan ketiga nilai resistivitas menghasilkan 4 per lapisan dengan rentang nilai, untuk Lapisan pertama dengan kisaran nilai resistivitas 7.68-55.2 ohm.m yang terdapat pada kedalaman 0-1.34 meter. Kemudian, lapisan kedua dengan kisaran nilai resistivitas 55.2-207 ohm.m yang terdapat pada kedalaman 0-1.8 meter. Lapisan ketiga merupakan endapan dengan nilai resistivitas dengan rentang 207-682 ohm.m ohm.meter yang terdapat pada kedalaman 1-2.15 meter.



Gambar 9. Penampang Resistivitas di Line 4

Penampang resistivitas dari 4 pengukuran menunjukkan nilai resistivitas dengan kisaran antara 5.18 - 960 ohm meter. Penyebab nilai resistivitas rendah pada lapisan atas adalah karena pasir yang menutupi lapisan atas. Menurut [8, 12, 13] menyatakan bahwa pasir atau bahan yang berpori dan memiliki kadar air akan menghasilkan nilai resistivitas yang lebih rendah. Selain itu, pengukuran dilakukan di pagi hari, yang menyebabkan kandungan air dari embun di pagi hari mempengaruhi kondisi pasir.

Pada lapisan tengah dan lapisan bawah, yang berada pada kedalaman antara 1,25 - 2,69 m memiliki resistivitas yang lebih tinggi daripada lapisan atas dengan nilai resistivitas sekitar 100 - 960 ohm meter. Penelitian yang dilakukan oleh [14] menunjukkan bahwa nilai resistivitas dari 150 - 320 ohm meter berhubungan dengan lapilli kasar. Observasi lapangan juga menunjukkan karakteristik yang sama untuk lapilli kasar (<64mm).

Line 2 sampai Line 4 memiliki nilai resistivitas yang lebih tinggi pada bagian bawah, sedangkan Line 1 memilikinya pada lapisan tengah. Batuan piroklastik yang ditemukan di lapisan ini berukuran blok, yaitu breksi piroklastik, dan porfiritik basalt. Berdasarkan Tabel [1], batuan beku memiliki resistivitas yang lebih tinggi daripada batuan sedimen.

Setelah semua hasil pengukuran dan pengamatan digabungkan, dapat dilihat bahwa Line 3 dan Line 4

memiliki kesamaan dalam komposisi lapisan. Line 4 dan Line 3 disusun oleh lapilli abu halus di permukaan, lapilli kasar dan tuf di lapisan tengah, dan tuff lapilli kasar untuk breksi di piroklastik. Selanjutnya, nilai resistivitas dari kedua lini tidak jauh berbeda (dengan mempertimbangkan iterasi yang dilakukan dan nilai RMS). Garis 2 disusun oleh tuf abu halus dan lapilli di permukaan sampai lapisan tengah, dan agglomerat berukuran blok dan breksi vulkanik di bagian bawah. Garis 1 disusun oleh abu halus dan lapilli pada permukaan dan lapisan bawah, sedangkan lapisan tengah memiliki bahan kasar seperti lapilli kasar.

Pengukuran resistivitas yang dilakukan di Gunung Bromo menunjukkan bahwa zona vulkanik Gunung Bromo memiliki 3 lapisan endapan piroklastik. Jalur 1, yang terletak di sisi utara sungai aliran lava memiliki batu pyroclastic berukuran blok pada lapisan tengah dan lapilli dan abu pada lapisan atas dan bawah. Garis 2, 3, dan 4 memiliki pasir yang menutupi lapisan atasnya, lapilli kasar pada lapisan tengah, dan batu berukuran blok di lapisan dasarnya.



Gambar 10. Basalt porphyritic (kiri) dan pyroclastic breccia (kanan)

#### PENUTUP

Dari pengukuran resistivitas 2D yang dilakukan di Kawah Tengger Bromo, kesimpulan yang bisa diambil adalah :

1. Densitas endapan piroklastik semakin tinggi pada lokasi yang dekat sampai ke kawah.
2. Lapisan endapan piroklastik pertama, kedua, dan ketiga di Gunung Bromo memiliki nilai resistivitas antara 12 - 55,3 Ohm meter pada kedalaman antara 0 - 1,3 meter dengan litologi sedimen piroklastik dan tipe lapil abu, 36 - 207 Ohm meter pada Kedalaman antara 1,3 - 1,8 meter dengan

sedimen pyroclastic padat dan jenis tuf, dan 207 - 682 Ohm meter pada kedalaman antara 1,8-2,15 meter dengan sedimen piroklastik padat dan tipe lapilli kasar.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Carl-Bernd Kaehlig, Andrew Wight, Chris Smith. Volcanoes of Indonesia – creators and destroyer. CBK Business Consultant. Singapore.2012.
- H. Sigurdsson, B. Houghton, S. R. McNutt, H. Rymer, J. Stix. Encyclopedia of Volcanoes. San Diego: Academic Press. 2000.
- P. De Vita, D. Agrello, F. Ambrosino. Landslide susceptibility assessment in ash-fall pyroclastic deposits surrounding Mount Somma- Vesuvius: Application of geophysical surveys for soil thickness mapping. Journal of Applied Geophysics59, (2006) 126 – 139.
- R. D. Maio, E. Piegari. A study of stability analysis of pyroclastic covers based on electrical resistivity measurements. Journal of Geophysics and Engineering. 2012.
- G. Einsele. Sedimentary Basins: Evolution, Facies, and Sediment Budget. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. 1992.
- Zaennudin A. The Stratigraphy and Nature of the Stratocone of Mt. Cemara Lawang in the Bromo – Tengger Caldera, East Java, Indonesia. Victoria University of Wellington (Master thesis).1990.
- M. H. Loke. Electrical Imaging surveys for environmental and engineering studies. Penang, Malaysia. 1999.
- W. M. Telford, L. P. Geldart, R. E. Sheriff. Applied Geophysics 2nd Edition. Cambridge University Press (1990) 283 – 292.
- F. M. Rivera, A. Zuber, J. Kania, E. Kmiecik. Resistivity and borehole data interpretation for characterizing the hydrogeology of Western Managua, Nicaragua. Extended Abstract of IAH 2010: Groundwater Quality Sustainability, Poland, Krakow: University of Silesia Press, (2010) 1417 –1423.

-----