

Survei Keberintangan Geoelektrik untuk Mengesan Terowong di Bukit Tenggek, Setiu, Terengganu

(Goelectrical Resistivity Survey for Ancient Tunnel Detection
at Bukit Tenggek, Setiu, Terengganu)

SITI NAZIRA MASROM*, MOHD. HARIRI ARIFIN, ABD. RAHIM HARUN
& ABDUL RAHIM SAMSUDIN

ABSTRAK

Survei keberintangan geoelektrik ini telah dijalankan di kawasan Bukit Tenggek, Setiu, Terengganu untuk mengesan kemungkinan wujudnya terowong lama yang dipercayai berada di kawasan berkenaan. Kaedah keberintangan geoelektrik ini bukanlah asing dan didapati amat berkesan di dalam eksplorasi mencari bahan arkeologi dan struktur terkambus di bawah tanah (terowong dan bahan artifak). Survei keberintangan geoelektrik ini dijalankan dengan menggunakan peralatan ABEM Terrameter SAS1000 dan susun atur elektrod jenis Wenner. Kawasan kajian terletak di kawasan lembah yang lembap dan terdapat anak sungai yang merentasi kawasan tersebut. Imej keberintangan 2-D menunjukkan wujudnya beberapa kawasan beranomali yang boleh dikaitkan dengan struktur yang dicari. Nilai keberintangan yang rendah mewakili kawasan yang dianggarkan wujudnya terowong lama. Manakala anomali yang menunjukkan bentuk gugusan dianggarkan berasosiasi dengan lokasi tong/bahan artifak. Profil keberintangan 3-D menunjukkan anomali yang mungkin disebabkan oleh wujudnya satu terowong mendatar dan dua terowong menegak. Namun, kerja galicari perlu dilakukan bagi menentukan punca sebenar anomali tersebut.

Kata kunci: Bahan artifak; keberintangan geoelektrik; terowong lama

ABSTRACT

Goelectrical resistivity survey was conducted in the Bukit Tenggek, Setiu, Terengganu to detect the possible existence of an ancient tunnel which is believed to be in the area. Goelectrical resistivity method was found very effective in searching for archaeological exploration and underground structures (tunnels and artifacts). Goelectrical resistivity survey was carried out using Terrameter ABEM SAS1000 and Wenner array electrode configuration. The survey area is located in a damp valley with a stream across the region. 2-D resistivity image showed the existence of anomalies in several areas that can be associated with the structure. Low resistivity value represents the estimated existence of the old tunnel, while isolated rounded anomalies are believed to be associated with barrels/artifacts. 3-D resistivity profiles, shows anomalies that may be caused by the existence of a horizontal and two vertical tunnels (shaft). However, the drillings work need to be done to figure out the exact cause of these anomalies.

Keywords: Ancient tunnel; artifacts; goelectrical resistivity

PENGENALAN

Kaedah keberintangan telah diperkenalkan pada awal kurun ke-20 tetapi lebih digunakan secara meluas dalam bidang kejuruteraan untuk mengesan rerongga, kehadiran bongkah batuan dalam tanah dan sebagainya (Abdul Rahim Samsudin 2001). Kaedah geofizik telah lama digunakan untuk membantu ahli arkeologi dalam kerja-kerja pencaharian (Sarmiza et al. 2010). Teknik yang biasa diguna pakai dalam carigali kejuruteraan mahupun arkeologi termasuklah keberintangan geoelektrik (Mizunaga et al. 2006; Mohd N. Nawawi 2004), kemagnetan (Ahmad Tajudin Hj Ibrahim & Che Noorliza Lat 2004) dan kaedah radar (Giovanni & Sergio 2006). Kaedah keberintangan geoelektrik ini telah lama digunakan untuk membantu ahli arkeologi dalam kerja-kerja pencaharian di serata dunia. Misalnya ahli arkeologi

Turki menggunakan kaedah keberintangan geoelektrik dalam pencarian bahan tinggalan kota Adramyetteion yang tertanam berabad lamanya (Can Karavul et al. 2010) dan pengkaji dari barat-tengah Amerika juga menggunakannya untuk mencari paip saluran pertanian yang tertanam (Allred et al. 2004).

Kaedah keberintangan elektrik ini adalah kaedah yang mudah untuk dijalankan tambahan ia hanya melibatkan kos yang efektif serta kaedah ini tidak merosakkan sebarang struktur binaan dan bahan yang berada disekitar kawasan kajian dijalankan (Abdul Rahim Samsudin 1990). Kaedah pengimejan geoelektrik ini adalah teknik pengkajian bagi kawasan yang mempunyai cirian geologinya yang kompleks dan kaedah pemeruman keberintangan serta kaedah-kaedah lain tidak sesuai digunakan untuk membekalkan maklumat berkenaan subpermukaan di

kawasan yang terhad keluasannya (Barker 1999; Griffiths 1993).

Kajian ini membincangkan keputusan hasil kajian daripada survei yang telah dijalankan dengan menggunakan kaedah keberintangan geoelektrik 2-D untuk mengesan kemungkinan wujudnya terowong bawah tanah di kawasan Bukit Tenggek, Setiu, Terengganu. Tapak kajian terletak di kedudukan $5^{\circ}22.148'U$, $102^{\circ}55.49'T$ di Bukit Tenggek, yang berada di dalam zon Hutan Rizab Belara, Setiu, Terengganu. Kawasan kajian terletak di kawasan lembah yang kebanyakan tanahnya lembap. Sebanyak enam garis survei keberintangan geoelektrik dengan nilai panjang dan orientasi berbeza (LRST1, LRST2, LRST3, LRST4, LRST5 dan LRST6) telah dijalankan di kawasan seluas $100\text{ m} \times 80\text{ m}$ persegi (Rajah 1). Tujuan utama kajian ini dijalankan adalah untuk menentukan kedudukan dan kedalaman terowong serta timbunan bahan artifak yang dipercayai wujud di kawasan kajian.

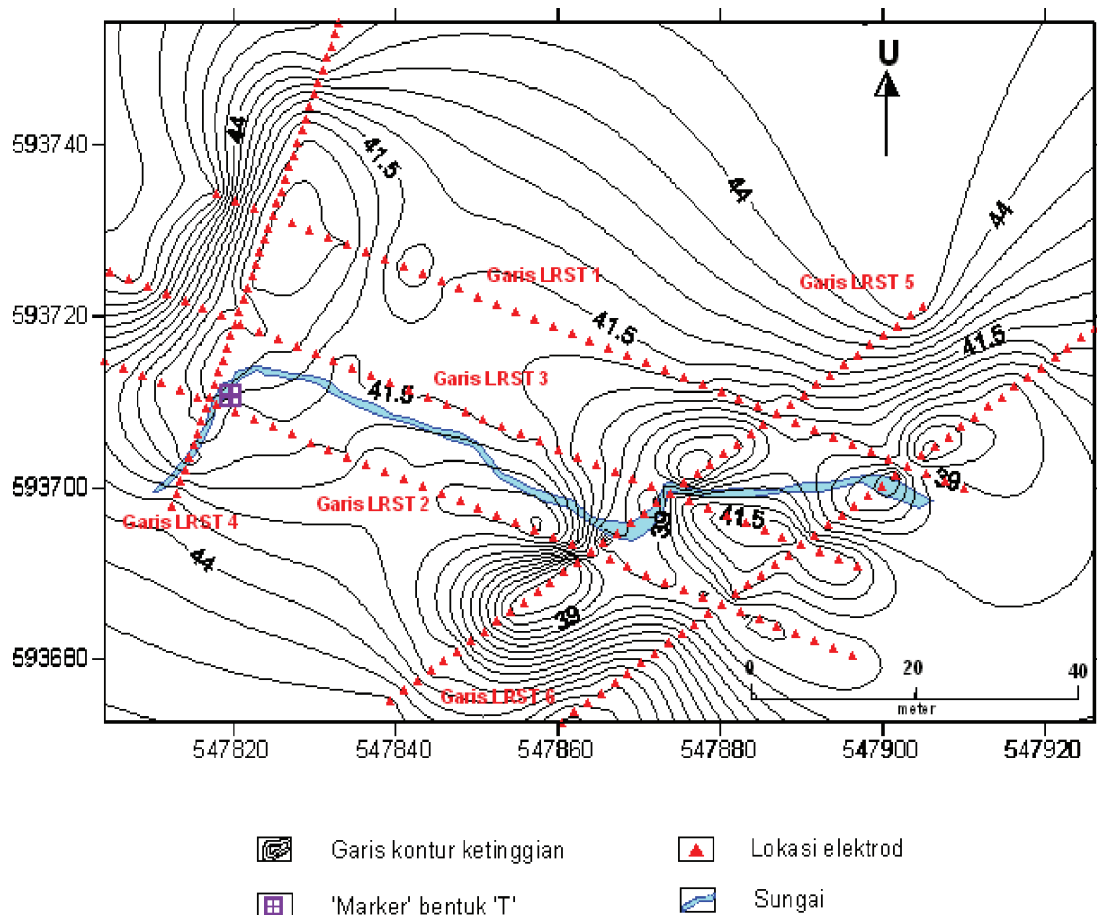
BAHAN DAN KAEDAH KAJIAN

Kaedah keberintangan geoelektrik ini berdasarkan kepada tindak-balas bahan bumi terhadap pengaliran arus elektrik. Pengukuran nilai keberintangan elektrik dijalankan dengan menggunakan empat elektrod keluli yang dicucuk

ke permukaan bumi. Ini bagi mendapatkan sentuhan di antara elektrod-elektrod tersebut dengan tanah atau batuan di subpermukaan. Aliran arus menyusuk ke subpermukaan bumi melalui sepasang elektrod arus dan voltan yang mengalir terus melalui sepasang elektrod keupayaan diukur (Koefoed 1979). Kuantiti yang diukur adalah nilai rintangan ketara.

Di dalam kajian ini, kaedah pengimejan keberintangan geoelektrik telah digunakan untuk mendapatkan perubahan sifat keberintangan bahan bumi dalam menentukan kewujudan kedudukan dan arah terowong. Secara umumnya, jika terdapat terowong yang kosong (berisi udara) di bawah permukaan bumi, nilai keberintangan secara relatif lebih tinggi jika dibandingkan dengan tanah atau batuan di sekitarnya. Namun begitu, faktor-faktor lain juga perlu dipertimbangkan seperti pengaruh air bawah tanah, jenis tanah atau batuan dan struktur geologi di bawah permukaan.

Imej 2-D keberintangan mengikut kedalaman (keratan pseudo) bagi setiap garis survei diproses dengan menggunakan perisian komputer RES2DINV (Loke 1996). Pemrosesan ini akan menghasilkan keratan rentas songsang yang merupakan kontur nilai keberintangan yang diplot mengikut kedalaman dan seterusnya memberikan maklumat tentang keberintangan dan kedalaman sebenar



RAJAH 1. Peta topografi dan kedudukan garisan survei yang dijalankan di kawasan kajian

secara dua dimensi (2-D). Susun atur Wenner telah digunakan dengan jarak antara elektrod yang digunakan adalah 1.5 m, 2.0 m dan 2.5 m iaitu mengikut kesesuaian kawasan. Penetapan lokasi dan orientasi garis survei disusun adalah supaya proses penggridan boleh dilaksanakan secara berkesan dan juga atas permintaan pelanggan bersandarkan kepada pengalaman mereka dalam kerja galian yang pernah mereka jalankan di kawasan ini (Jadual 1).

Berdasarkan maklumat tersebut adalah dipercayai bahawa struktur terowong berkedudukan selari dengan arah aliran sungai dan juga kotak-kotak kosong yang telah dijumpai sebelum ini oleh penduduk setempat dipercayai sebagai tempat simpanan bahan-bahan artifak. Selain itu, juga turut dijumpai besi lama di sekitar kawasan kajian. Berdasarkan maklumat ini juga, interpretasi dan perletakan tanda bahawa wujudnya sesuatu bahan itu telah dilakukan.

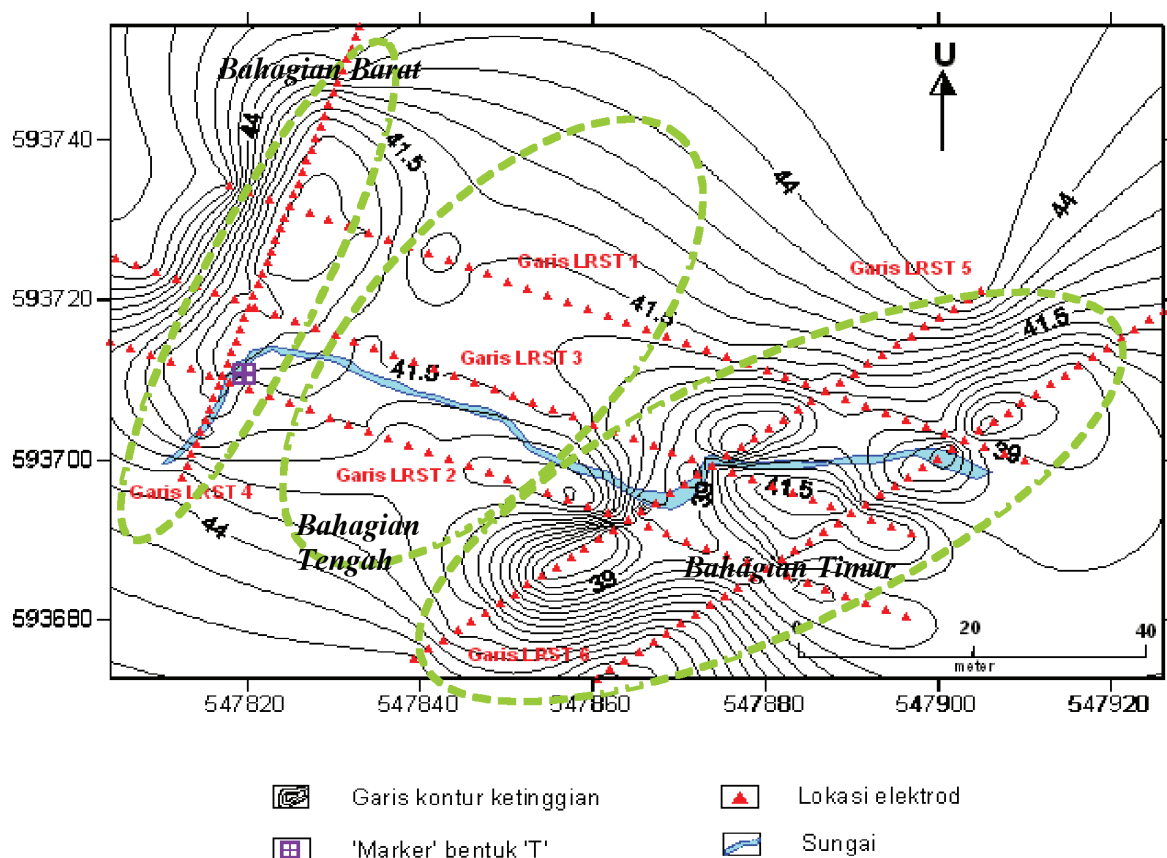
HASIL DAN PERBINCANGAN

PROFIL KEBERINTANGAN 2-D

Kedudukan tapak kajian dikawasan lembah dengan keadaan tanah yang lembab dan terdapatnya aliran sungai kecil, memungkinkan terowong (jika ada) akan dimasuki air. Ini menyebabkan nilai keberintangan terowong menjadi rendah dan tidak banyak berbeza dengan kawasan sekitarnya. Bagi memudahkan pentafsiran dan penentuan kemungkinan wujudnya terowong, maka semua hasil survei telah digabungkan untuk melihat hubung-kait anomali disetiap garis survei yang diperolehi. Justeru itu, keputusan imej keberintangan 2-D telah dibahagikan kepada 3 bahagian iaitu bahagian barat, tengah dan timur kawasan kajian (Rajah 2).

JADUAL 1. Maklumat garis survei keberintangan geoelektrik (tatacara susunan Wenner digunakan)

Bilangan garis survei	Kod garis survei	Panjang garis survei (m)	Jarak elektrod, a (m)	Arah survei
1	LRST1	100	2.5	U110°T
2	LRST2	100	2.5	U110°T
3	LRST3	100	2.5	U110°T
4	LRST4	60	1.5	U20°T
5	LRST5	80	2.0	U55°T
6	LRST6	80	2.0	U55°T



RAJAH 2. Pembahagian kawasan kajian kepada bahagian barat, tengah dan timur

Bahagian Barat Di bahagian barat pentafsiran dilakukan berdasarkan gabungan imej garis survei LRST4, LRST1, LRST2 dan LRST3 (Rajah 2). Di bahagian ini terdapat satu paya bekas korekan terowong lama (zon berkeberintangan rendah, ZBR) pada jarak 13.5 m daripada permulaan garis LRST1 serta berkedudukan 40 hingga 86 m pada garis LRST4. Paya bekas korekan ini dianggarkan berkedalaman 5 m (Rajah 3). Oleh itu, unjuran (yang menunjukkan nilai keberintangan rendah) daripada lokasi paya bekas korekan terowong lama ini ditafsirkan sebagai baki terowong yang dijangka wujud selari dengan arah terowong lama. Terowong yang dianggarkan panjangnya lebih kurang 20 m panjang ditafsirkan wujud di bahagian barat kawasan kajian. Selain itu, terdapat satu anomali yang ditafsirkan sebagai bahan artifak iaitu pada jarak antara 27 hingga 33 m daripada elektrod pertama pada garis survei LRST4 dan ia berkemungkinan terletak pada kedalaman 4- 6 m dari permukaan.

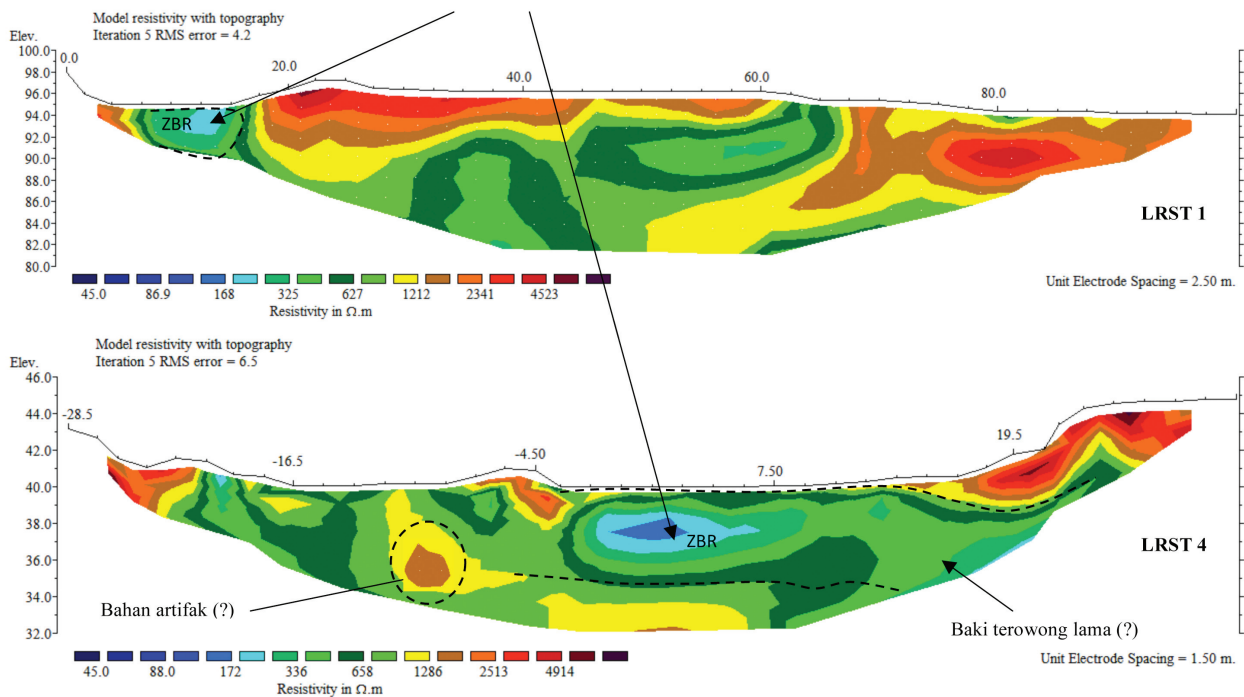
Bahagian Tengah Di bahagian tengah ini pula, garis survei LRST2 dan LRST3 telah digunakan bagi membuat pentafsiran. Berdasarkan maklumat yang diperolehi daripada penduduk setempat adalah dipercayai terdapat terowong yang berkedudukan selari dengan aliran sungai. Pada garis survei LRST2 dan LRST3 jelas kelihatan zon berkeberintangan rendah (ZBR) yang berkemungkinan merupakan satu bekas saluran sungai tertimbus atau terowong yang terletak pada kedalaman 2 hingga 8 m dan ia adalah selari dengan garis survei (Rajah 4). Kedudukan garis LRST3 yang berhampiran, selari dengan arah aliran sungai agak menyukarkan pentafsiran samada wujudnya terowong pada garis ini atau nilai

keberintangan yang rendah itu adalah berasosiasi dengan sungai yang berhampiran. Imej untuk garis survei LRST2 lebih diyakini wujudnya terowong mendatar pada arah U110°T kerana kedudukannya lebih jauh daripada sungai. Namun, kemungkinan zon yang berkeberintangan rendah ini berasosiasi dengan lapisan batuan atau tanah yang tepu dengan air sungai juga tidak disangkal.

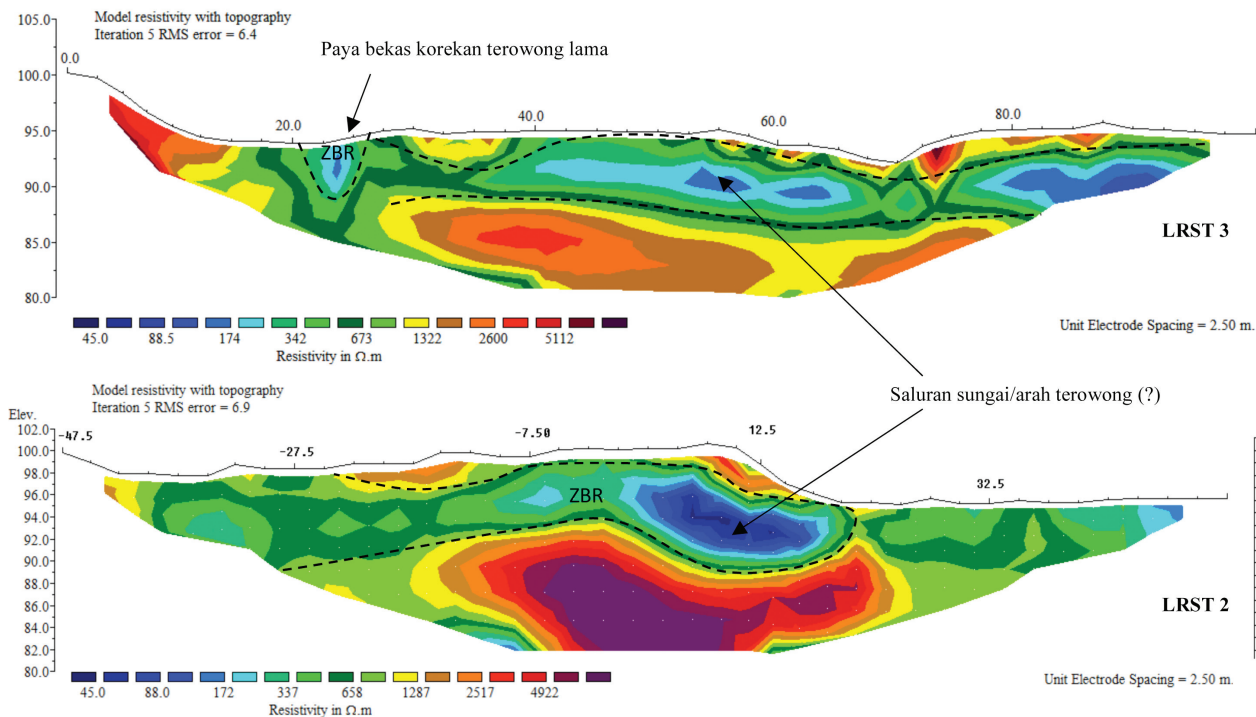
Bahagian Timur Pada garis LRST5, terdapat anomali yang boleh dikaitkan dengan kemungkinan terowong menegak atau bahan artifak pada bahagian kanan garis survei dengan kedalaman 6 m dari permukaan (Rajah 5). Satu anomali yang boleh dikaitkan dengan anomali pada garis survei LRST3 yang memungkinkan kewujudan terowong pada garis tersebut. Anomali tersebut kelihatan pada kedalaman lebih 4 m dari permukaan serta lokasinya di tengah-tengah garis survei. Pada garis LRST6, kehadiran anomali yang rendah (AR) pada jarak 24 hingga 42 m dari mula garis survei (kedalaman adalah dalam lingkungan 6 m dari permukaan) dan ia boleh dikaitkan dengan garis survei LRST3 dan LRST5. Ini memungkinkan wujudnya satu terowong di kawasan ini. Pada jarak 48 hingga 56 m dari mula garis survei, terdapat anomali yang boleh dikaitkan dengan bahan artifak (bahan besi yang dijumpai dan dipercayai berasal daripada terowong) pada kedalaman 2 - 10 m dari permukaan.

PROFIL KEBERINTANGAN 3-D

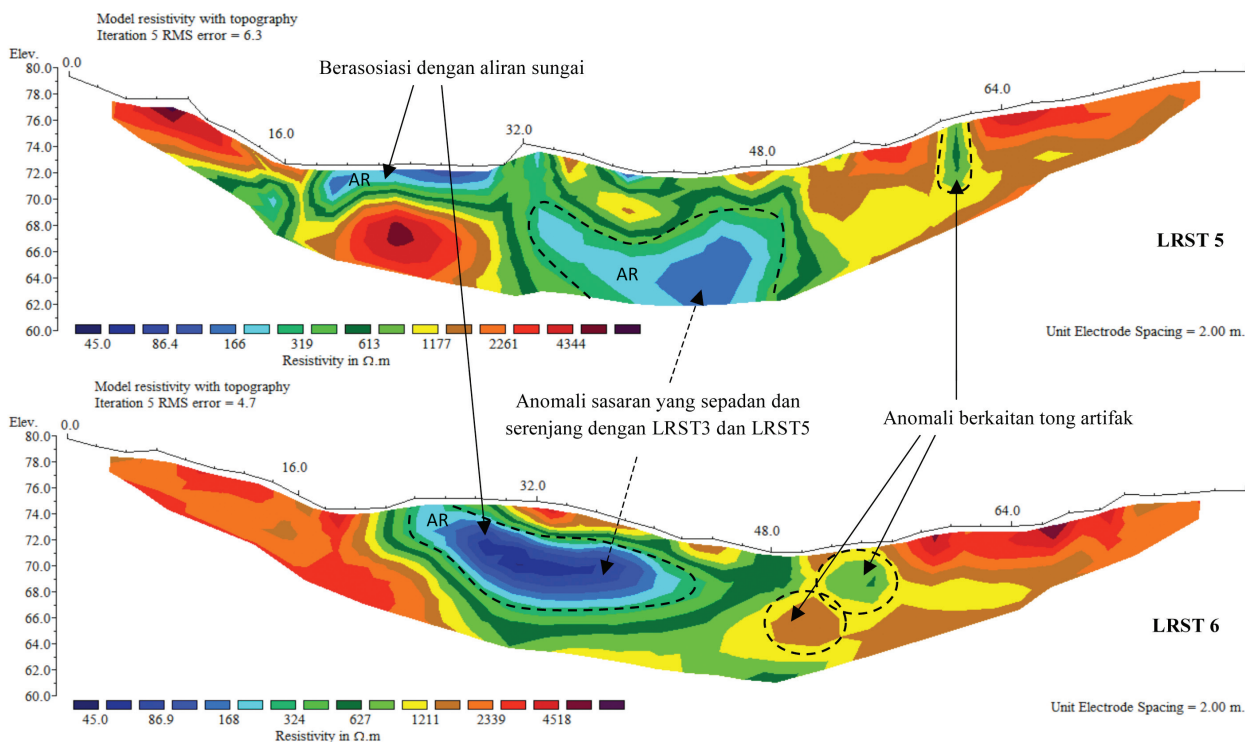
Imej keberintangan 3-D (Rajah 6) menunjukkan kawasan kajian berkemungkinan mempunyai satu terowong mendatar di tengah kawasan kajian dan terdapat dua



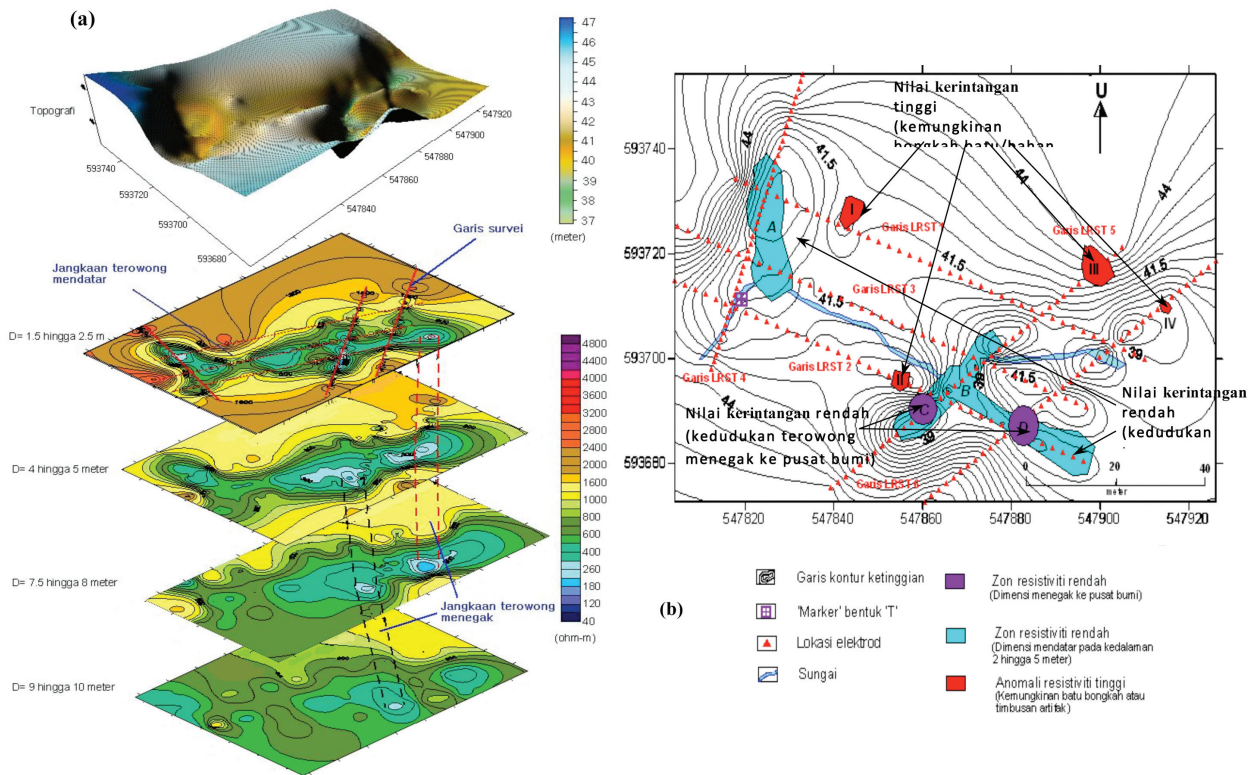
RAJAH 3. Keratan keberintangan songsang menunjukkan korelasi bekas korekan dan baki terowong lama



RAJAH 4. Keratan keberintangan songsang bagi garis survei LRST3 dan LRST2



RAJAH 5. Imej keberintangan garis survei LRST5 dan LRST6 menunjukkan kemungkinan kewujudan terowong yang saling berkait serta kedudukan yang diandaikan mempunyai timbunan bahan artifak



RAJAH 6. (a) Korelasi imej secara 3D pada kedalaman berbeza memungkinkan wujudnya satu terowong mendatar dan dua terowong menegak (syaf) dan (b) kedudukan lokasi anomali sasaran

terowong menegak (syaf). Kewujudan anomali ini dikesan pada kedalaman 5 hingga 10 m. Bagi terowong mendatar, kedalaman yang dapat dianggarkan adalah pada kedalaman 5 m dari permukaan dan semakin kurang jelas pada kedalaman melebihi 7.5 m. Ini memungkinkan terowong yang wujud adalah dalam lingkungan saiz 2.5 m diameter.

KESIMPULAN

Imej keberintangan geoelektrik yang diperolehi daripada survei keberintangan yang telah dijalankan di kawasan kajian, menunjukkan beberapa anomali yang jelas. Namun demikian, berdasarkan kepada anomali-anomali ini sahaja tidak dapat dipastikan sama ada ia berasosiasi dengan bahan artifak (bahan besi dan kotak simpanan bahan lama) atau kewujudan terowong lama mahupun disebabkan oleh kewujudan bahan-bahan artifak yang lain.

Jika bersandarkan maklumat imej keberintangan yang diperolehi daripada profil 2-D (Rajah 4), kelihatan seolah-olah wujud dua terowong mendatar pada garis survei LRST3 dan LRST2. Namun, garis survei LRST2 lebih diyakini kerana ia terletak di kawasan yang relatif kering tetapi memberikan nilai keberintangan yang rendah walhal nilai rendah pada garis LRST3 lebih dilihat sebagai nilai yang berkemungkinan berasosiasi dengan aliran anak sungai.

Imej keberintangan 3-D telah dibina untuk membantu pentafsiran. Berdasarkan gambaran 3-D ini (Rajah 6a), kelihatan seolah-olah wujudnya satu terowong mendatar (iaitu selari dengan garis LRST2) dan dua terowong menegak (shaf) iaitu di bahagian timur. Rajah 6b menunjukkan kemungkinan kedudukan bahan/tong artifak yang ditunjukkan oleh nilai keberintangan yang tinggi. Selain itu, kedudukan terowong mendatar yang dijangka berkedalaman 2 hingga 5 m ditunjukkan oleh anomali yang berwarna biru serta kedudukan terowong menegak (warna ungu).

Namun, bagi memastikan kewujudan terowong lama serta timbunan bahan artifak ini, usaha galicari perlulah dijalankan di kawasan tersebut. Kawasan yang menunjukkan anomali yang jelas adalah kawasan yang dicadangkan untuk dijalankan kerja-kerja galicari bagi mendapat kepastian struktur/bahan sebenar yang terdapat di kawasan tersebut.

PENGHARGAAN

Pengarang merakamkan ucapan terima kasih kepada Jabatan Mineral dan Geosains, Terengganu yang memberikan maklumat geologi kawasan kajian. Tidak ketinggalan juga kepada Puan Habibah yang memberikan bantuan kewangan untuk membolehkan kajian ini dijalankan serta pembantu makmal Program Geologi, UKM yang telah membantu dalam perolehan data keberintangan di lapangan.

RUJUKAN

- Abdul Rahim Samsudin. 1990. *Geofizik: Konsep dan Penggunaan*. Kuala Lumpur: Dewan Bahasa dan Pustaka.
- Abdul Rahim Samsudin, Rahman Yaacup & Lakam a/k Mejus. 2001. Some Case Studies on Application of Geoelectrical Resistivity Imaging for Geotechnical Site Investigation in Malaysia. *Proceedings-International Conference on Insitu Measurement of soil Properties and Case Histories(INSITU 2001)*, Bali, 177-181.
- Ahmad Tajudin Hj Ibrahim & Che Noorliza Lat. 2006. Detecting subsurface voids using the microgravity method – A case study from Kuala Lipis, Pahang. *Bulletin of Geological Society of Malaysia* 48: 31-35.
- Allred, B.J., Fausey N.R., Peters, L. Jr., Chen, C., Daniels, J.J. & Youn, H. 2004. Detection of buried agricultural drainage pipe with geophysical methods. *American Society of Agricultural Engineers* 20(3): 307-318.
- Barker, R.D. 1999. Surface and borehole geophysics. Dlm Lloyd J.W. (ed) *Water Resources of Hard Rock Aquifers in Arid and Semi-Arid Zones. Studies and Reports in Hydrology* 58: 287.
- Can Karavul, Zehra Dedeali, Ayhan Keskinsezer, Günay Beyhan & Askin Demirkol 2010. Magnetic and electrical resistivity image survey in a buried Adramyteion ancient city in Western Anatolia, Turkey. *International Journal of the Physical Sciences* 5(6): 876-883.
- Giovanni Leucci & Sergio Negri. 2006. Use of ground penetrating radar to map subsurface archaeological features in an urban area. *Journal of Archaeological Science* 33: 502-512.
- Griffiths, D.H. & Barker, R.D. 1993. Two-dimensional resistivity imaging and modeling in areas of complex geology. *Journal of Applied Geophysics* 29: 211-226.
- Koefoed, O. 1979. *Geosounding Principles 1: Resistivity Sounding Measurements*. Amsterdam: Elsevier Science Publishing Co.
- Loke, M.H. 1999. RES2DINV ver. 3.42, Geoelectrical Imaging 2-D& 3-D, User Manual.
- Mizunaga, Hideki, Tanaka, Toshiaki, Ushijima & Keisuke. 2006. 3D Imaging of Archaeological Tomb by Electrical Resistivity Techniques. *Proceedings of the Symposium on the Application of Geophysics to Environmental and Engineering Problems (SAGEEP 2006)*, Seattle, Washington.
- Mohd. N. Nawawi, Mohd Mokhtar, J.I. Abdullah, Sarmiza Sapiai & Norazura Adam. 2004. Geophysical Applications in Mapping Paleolithic Workshop Site in Bukit Bunuh, Perak, Malaysia. *Proceedings of the 7th SEGJ International Symposium – Imaging Technology*, Sendai, Japan, 427-430.
- Sarmiza, M.S., Rosli Saad, Shyeh, S.K., Nawawi, M.N.M. & Mokhtar Saidin. 2010. Geophysical Applications in Archaeological Subsurface Site at Sungai Batu, Lembah Bujang, Kedah. *Proceedings International Conference on Environmental Science and Development (CESD 2010)*, Singapore, 269-271.
- Siti Nazira Masrom*, Mohd Hariri Arifin, Abd Rahim Harun & Abdul Rahim Samsudin
 Program Geologi
 Pusat Pengajian Sains Sekitaran dan Sumber Alam
 Fakulti Sains dan Teknologi
 Universiti Kebangsaan Malaysia
 43600, Bangi, Selangor D.E.
 Malaysia
- *Pengarang untuk surat-menyurat; email: sitinaziramasrom@yahoo.com
- Diserahkan: 4 Oktober 2010
 Diterima: 10 Februari 2011