

Kajian Geofizik: Pengimejan Geoelektrik dan Survei kemagnetan di Tapak Kota Kuala Kedah

oleh

PROF. DR. ABD RAHIM BIN HAJI SAMSUDIN

Pendahuluan

Jabatan Geologi, Fakulti Sains Fizis dan Gunaan, Universiti Kebangsaan Malaysia telah diminta untuk menjalankan kajian geofizik di kawasan tapak Kota Lama Kuala Kedah oleh Syarikat Deliver Consult & Construction Sdn. Bhd. Syarikat ini telah dipertanggungjawabkan oleh pihak Muzium Negara Malaysia untuk menjalankan kerja-kerja konservasi dan galicari kota lama Kuala Kedah. Kawasan kajian mempunyai keluasan sekitar 3 ekar dan pelan petak galicari skala 1:200 di tunjukkan dalam Rajah 1.

Kajian geofizik ini telah dijalankan pada 30 September hingga 7 Oktober 1997 dengan bantuan lima orang pelajar tahun akhir Jabatan Geologi, Universiti Kebangsaan Malaysia.

Tujuan Kajian

Objektif utama kajian ini adalah untuk menentukan kedalaman struktur tapak bangunan kota lama disamping mengesan struktur-struktur lain yang terkambus di bawah permukaan bumi.

Kawasan Kajian

Kerja-kerja galicari telah bermula sejak awal tahun 1997 dan dijangka selesai sebelum hujung tahun. Susunatur petak galicari ditunjukkan dalam Rajah 1. Kerja-

kerja galicari awal telah menyingkap dengan jelas kedudukan dan bentuk struktur tapak kota lama tersebut. Bahan yang digunakan untuk membina struktur itu diperbuat daripada bata yang berukuran lebih lebar dan nipis berbanding dengan bata yang ada sekarang. Disamping itu beberapa artifak seperti bahan tembikar, duit syiling dan lain-lain banyak ditemui di kawasan tapak kajian.

Secara amnya kawasan bekas tapak kota lama ini terletak betul-betul di tepi Sungai Kedah. Ia terletak di dalam kampung nelayan. Kawasan ini mempunyai keluasan kira-kira 220 m x 160 m persegi dan telah dijadikan padang permainan bola sepak untuk sekolah yang tidak lagi beroperasi. Tembok-tembok dan tapak bangunan yang diperbuat daripada bata masih dapat dilihat di kawasan tapak kota lama tersebut. Sebahagian daripada tembok-tembok itu masih berdiri teguh dan kebanyakannya telah runtuh mungkin akibat banjir atau telah dirobohkan.

Selain itu terdapat beberapa bangunan lama dan bangunan baru mini muzium terletak di dalam kawasan kajian dan ini juga telah menghalang survei geofizik yang dilakukan. Dengan keadaan lapangan yang dinyatakan, kajian kerintangan geoelektrik hanya dapat dilakukan di lokasi bertanda A dan B. Manakala survei kemagnetan hanya tertumpu di lokasi C.

Bahan artifak seperti batu bata biasanya akan memberikan nilai keberintangan geoelektrik dan anomali kemagnetan yang tinggi berbanding tanah disekelilingnya. Namun demikian kebolehesanan bahan-bahan di atas banyak bergantung kepada saiz dan isipadu bahan tersebut dan berapa jauh kedudukannya di bawah permukaan bumi.

Kaedah Kajian Geofizik

Kaedah geofizik telah lama digunakan untuk membantu ahli arkeologi dalam kerja-kerja penggalian (Abdul Rahim Samsudin, 1996; Umar Hamzah & Abd. Rahim Samsudin, 1995; Wynn, 1986). Teknik-teknik geofizik yang biasa digunakan dalam galicari arkeologi termasuklah kerintangan geoelektrik, kemagnetan (Young & Droege, 1986) dan kaedah menggunakan radar (Vaughan, 1986). Keberkesanan teknik ini bergantung kepada perbezaan sifat fizik bahan artifak dengan bahan atau litologi batuan sekelilingnya. Saiz dan kedalaman artifak juga mempengaruhi keberkesanan kaedah geofizik yang digunakan.

Artifak yang terbentuk daripada batu-batu seperti struktur tapak dan tiang kota biasanya akan dapat dikesan kerana bahan ini, dalam kuantiti yang banyak, mempunyai kerintangan geoelektrik yang relatif tinggi. Keberkesanan kaedah geoelektrik adalah bergantung kepada besarnya perbezaan sifat kekonduksian elektrik bahan yang diuji dengan bahan-bahan yang terdapat disekitarnya. Memandangkan lapisan tanah aluvium sungai yang memenuhi kawasan ini mempunyai nilai kerintangan yang relatif rendah (purata <10 Ohm-m) jika dibandingkan dengan nilai kerintangan artifak di atas, maka kaedah kerintangan geoelektrik amat sesuai untuk digunakan dalam kajian ini.

Besar atau kecilnya kerintangan geoelektrik bahan artifak bergantung kepada

kandungan air dan darjah mampatan bahan berbanding medium sekitarnya. Faktor yang menentukan sama ada sesuatu bahan artifak itu boleh dikesan atau tidak dengan menggunakan kaedah kerintangan geoelektrik (Carr, 1982) adalah seperti berikut:

- (i) Tanah mempunyai ciri-ciri kimia dan fizik yang berubah dan yang akan menentukan nilai kerintangannya. Fluktuasi ini boleh menyembunyikan anomali yang dihasilkan oleh objek artifak tersebut.
- (ii) Terdapat banyak fitur semula jadi yang sukar untuk dibezakan daripada fitur arkeologi. Misalannya jika artifak dan bahan sekitarnya mempunyai kerintangan yang sama, maka anomali yang terhasil agak sukar untuk dibezakan.
- (iii) Kerintangan tanah banyak bergantung kepada kandungan air dan darjah kemampuannya.
- (iv) Objek yang berada di paras lebih cetek akan memberikan nilai kerintangan yang lebih tinggi berbanding objek yang terletak lebih dalam.
- (v) Kejelasan plot kerintangan bagi sempadan sesuatu ketakselajaran bergantung kepada beza kerintangan medium di kedua-dua belah ketakselajaran, jarak dan tatarajah elektrod serta arah susunan elektrod dengan sempadan ketakselajaran tersebut.

Secara umumnya, dalam tempoh penyiasatan, kawasan kajian berada dalam keadaan yang tepu air (water saturated area). Oleh itu, nilai kerintangan tanah di kawasan ini dijangka relatif rendah dan faktor ini secara langsung akan memudahkan anomali kerintangan yang disebabkan oleh bahan-bahan artifak diperolehi.

Satu lagi kaedah yang telah digunakan dalam kajian ini ialah kaedah kemagnetan. Kaedah kemagnetan ini amat berguna untuk mengesan artifak-artifak yang mempunyai sifat kemagnetan yang tinggi seperti bahan besi dan barang-barang diperbuat daripada logam bermagnet. Sekali lagi keberkesanan kaedah ini bergantung kepada perbezaan sifat magnet artifak dan bahan di sekitarnya (tanah). Di kawasan kajian artifak yang berkaitan dengan batu bata secara relatif mempunyai sifat kemagnetan yang tinggi berbanding dengan kemagnetan tanah aluvium. Oleh itu kaedah magnet telah digunakan di kawasan ini untuk meninjau kemungkinan wujudnya artifak yang dicari.

Teknik lapangan

(i) Teknik Pengimejan kerintangan geoelektrik

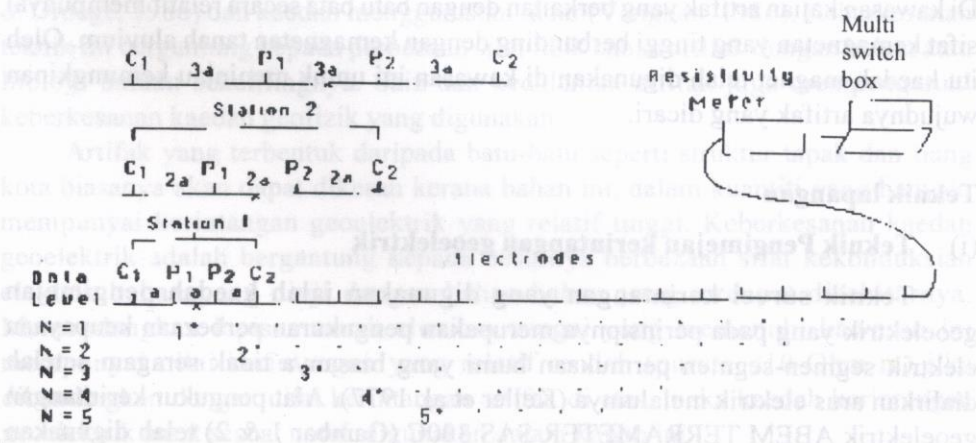
Teknik survei kerintangan yang digunakan ialah kaedah pengimejan geoelektrik yang pada perinsipnya merupakan pengukuran perbezaan keupayaan elektrik segmen-segmen permukaan bumi yang biasanya tidak seragam setelah dialirkan arus elektrik melaluinya (Keller et al. 1977). Alat pengukur kerintangan geoelektrik ABEM TERRAMETER SAS 300C (Gambar 1 & 2) telah digunakan bersama lima puluh batang elektrod yang dihubungkan melalui kabel multikor

(Rajah 2). Bacaan kerintangan geoelektrik diukur mengikut susunatur Wenner. Semasa pengukuran dilakukan, sepasang elektrod digunakan untuk membekalkan arus kedalam bumi dan sepasang lagi digunakan untuk mengukur keupayaan elektrik. Jarak antara kedua-dua elektrod arus dan elektrod keupayaan adalah tetap (1 meter) dan bacaan diambil dengan mengubah jarak antara stesen sebesar 1 atau 2 meter. Pengukuran ini dilakukan di sepanjang 17 garisan survei (L1, L2, ... L17) yang meliputi kawasan bertanda A dan B (Rajah 1). Jarak antara garisan-garisan survei kerintangan di kedua-dua kawasan A dan B adalah sekitar 6 meter. Kedudukan garisan-garisan survei kerintangan (L1, L2, L3, ... dan L17) ditunjukkan dalam Rajah 1.

Peta-peta perubahan kerintangan geoelektrik yang diplot dengan bantuan perisian WINSURF adalah mengikut paras kedalaman daripada 1.0m hingga 5.0m. Peta-peta ini akan menunjukkan perubahan kerintangan geoelektrik permukaan pada paras kedalaman berbeza dan kedudukan kawasan yang beranomali atau mempunyai bahan artifak. Peta sama kerintangan ini menunjukkan taburan nilai kerintangan geoelektrik kawasan kajian di beberapa kedalaman secara pelan.

Selain itu, perubahan nilai kerintangan mengikut kedalaman bagi setiap garisan survei diproses dengan menggunakan perisian komputer RES2DINV (Loke, 1996). Pemprosesan ini akan menghasilkan keratan-keratan rentas pseudo yang merupakan kontur sama kerintangan yang diplot mengikut kedalaman ketara dan seterusnya memberikan maklumat tentang kedalaman sebenar punca anomali (bahan artifak) yang dikaji.

Sebanyak 5 peta kontur sama kerintangan dan 13 plot keratan rentas pseudo yang mewakili setiap garisan survei telah diperolehi untuk tujuan pentafsiran. Dalam kajian ini, pengimejan geoelektrik dilakukan dengan menggunakan susunatur Wenner dan jarak antara elektrod yang dikaji adalah daripada 1.0 hingga 5.0 meter. Kedalaman anomali ditentukan dengan pemprosesan data menggunakan Program komputer RES2DINV.



Rajah 2: Kaedah dan susunatur eleltrod dalam pengimejan kerintangan geoelektrik.

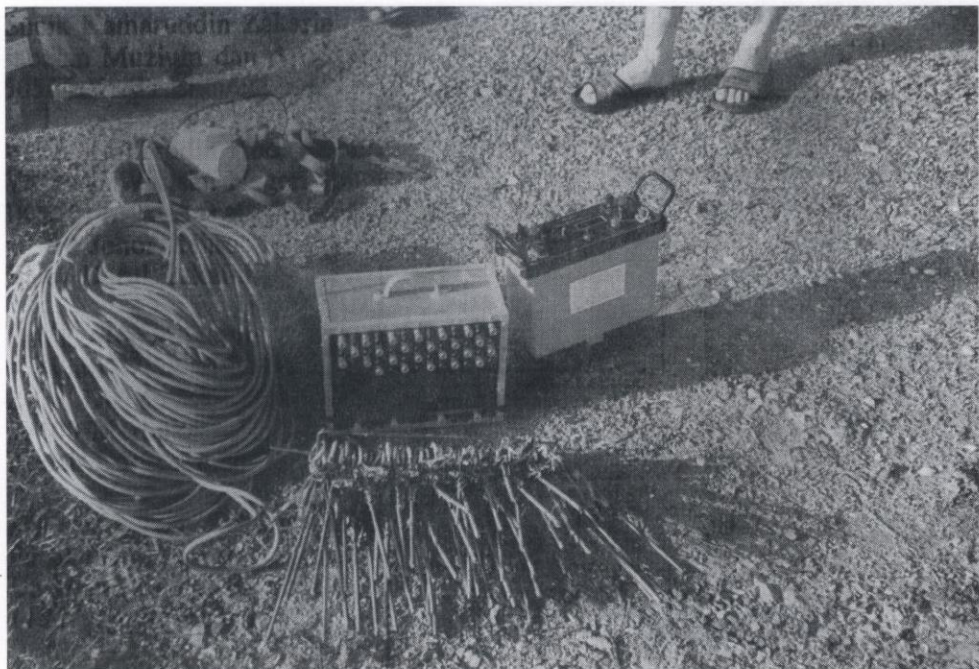


Foto 1: Peralatan ABEM SAS300c, kabel multikor, elektrod dan kotak multi suiz.



Foto 2: Teknik pengimejan kerintangan geoelektrik di lapangan.

(ii) Survei Kemagnetan

Survei magnet dilakukan dengan menggunakan magnetometer jenis liukan proton (Foto 3). Pengukuran magnet dilakukan hanya di kawasan sekitar bekas tapak kota lama (Foto 4). Bacaan kemagnetan pada setiap stesen diambil untuk dua kedudukan sensor yang berbeza iaitu pada paras ketinggian sensor 0.5m dan 1.0m. Nilai kecerunan magnet diperolehi dengan menolakkan bacaan magnet pada paras sensor 1.0m daripada bacaan magnet pada paras 0.5m. Jarak antara stesen pengukuran ialah 2m. Hasil pengukuran kecerunan ini diplot sebagai peta kecerunan kemagnetan (Rajah 9).

Hasil dan perbincangan

(i) Pengimejan Kerintangan geoelektrik (untuk kawasan bertanda A)

Rajah 3, 4, 5, 6 dan 7 menunjukkan peta kontur sama kerintangan untuk permukaan pelan lapisan pada lima kedalaman yang berbeza iaitu untuk kedalaman 1.0m, 2.0m, 3.0m, 4.0m dan 5.0m di bawah permukaan bumi. Berdasarkan keputusan yang diperolehi melalui kajian geoelektrik, nilai kerintangan lapisan tanah dari permukaan hingga kekedalaman 5.0m adalah dalam julat 0.1 hingga 10.0 Ohm-m. Nilai-nilai kerintangan geoelektrik yang lebih tinggi boleh dikelaskan sebagai anomali. Anomali-anomali ini boleh disebabkan oleh pelbagai punca termasuklah bahan artifak seperti batu bata dan lain-lain.

Rajah 3, 4, 5, 6 dan 7 menunjukkan peta sama kerintangan geoelektrik untuk kedalaman (a) 0.1 hingga 5.0m dan kedudukan garisan-garisan kerintangan geoelektrik yang dilakukan.

Rajah 3 menunjukkan beberapa anomali kerintangan geoelektrik pada paras kedalaman 1.0m di bawah permukaan bumi. Taburan dan kedalaman anomali kerintangan ini dapat dilihat dengan lebih jelas pada profil kerintangan L3, L5, L6, L7, L8 dan L9 (Rajah 10c, 10e, 10f, 10g, 10h and 10i) yang diperolehi dengan perisian RES2DINV. Kedalaman anomali-anomali ini berubah-ubah daripada 1.0 hingga 5.0m.

Rajah 4 menunjukkan perubahan kerintangan pada paras kedalaman 2.0m. Beberapa anomali kerintangan geoelektrik boleh di beberapa profil iaitu L2, L3, L8, L10 dan L11. Kedalaman dan taburan anomali ini dapat dilihat pada keratan rentas kerintangan (Rajah 10b, 10c, 10h, 10j dan 10k). Kedalaman anomali ini juga berubah-ubah daripada 2.0 hingga 5.0m.

Rajah 5 menunjukkan peta sama kerintangan pada paras kedalaman 3.0m di bawah permukaan bumi. Kedudukan anomali kerintangan dapat dilihat pada profil L4, L5, L8, L9, L10, L11 dan L12. Geometri dan kedalaman punca anomali ini ditunjukkan oleh peta keratan rentas kerintangan (Rajah 10d, 10e, 10g, 10h, 10i, 10j dan 10k). Kedalaman punca anomali berubah sehingga kedalaman 5.0m.

Rajah 6 menunjukkan anomali kerintangan geoelektrik pada paras kedalaman



Foto 3: Teknik pengukuran kemagnetan dalam survei magnet.

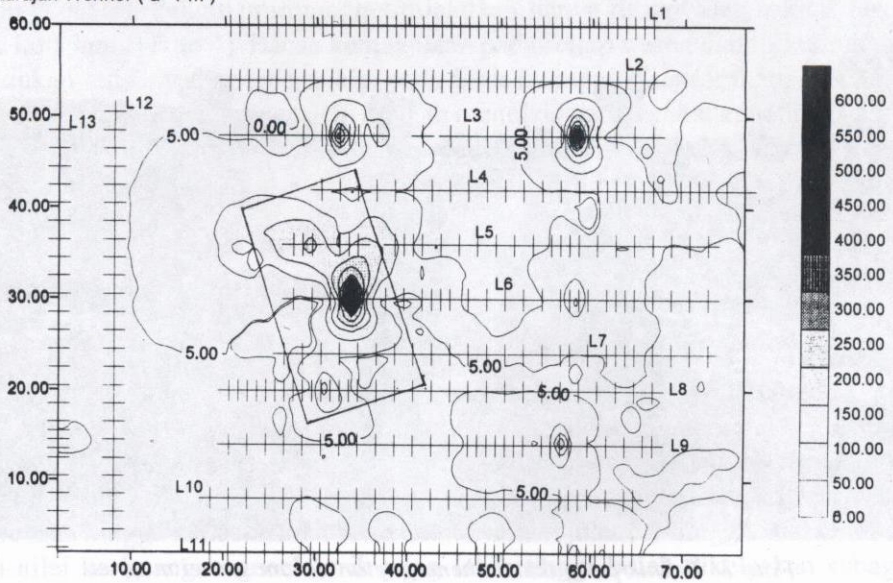


Foto 4: Kawasan kajian menunjukkan struktur bekas tapak kota lama Kuala Kedah.

SURVEI GEOFIZIK KOTA KUALA KEDAH

KERINTANGAN GEOELEKTRIK (ohm-m)

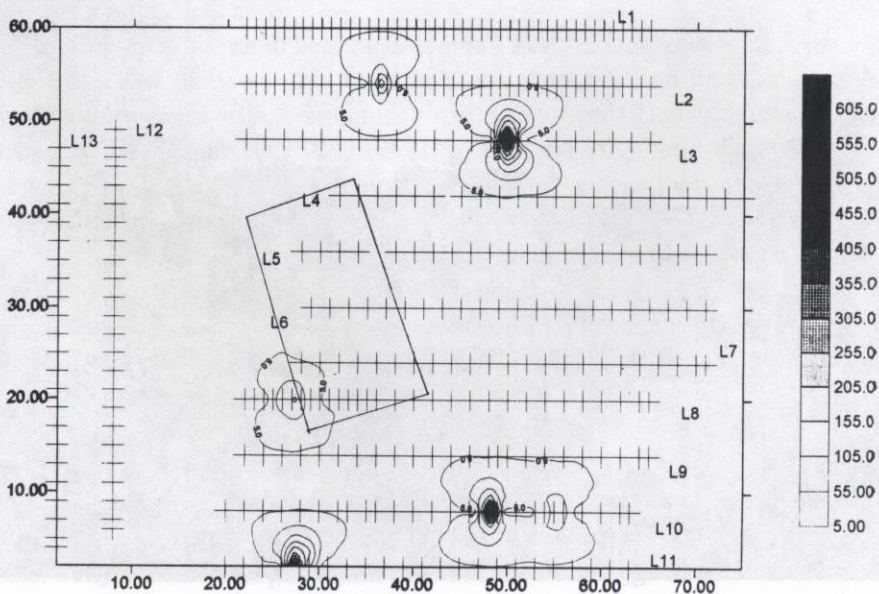
Tatarajah Wenner ($a=1$ m)



Rajah 3.

KERINTANGAN GEOELEKTRIK (ohm-m)

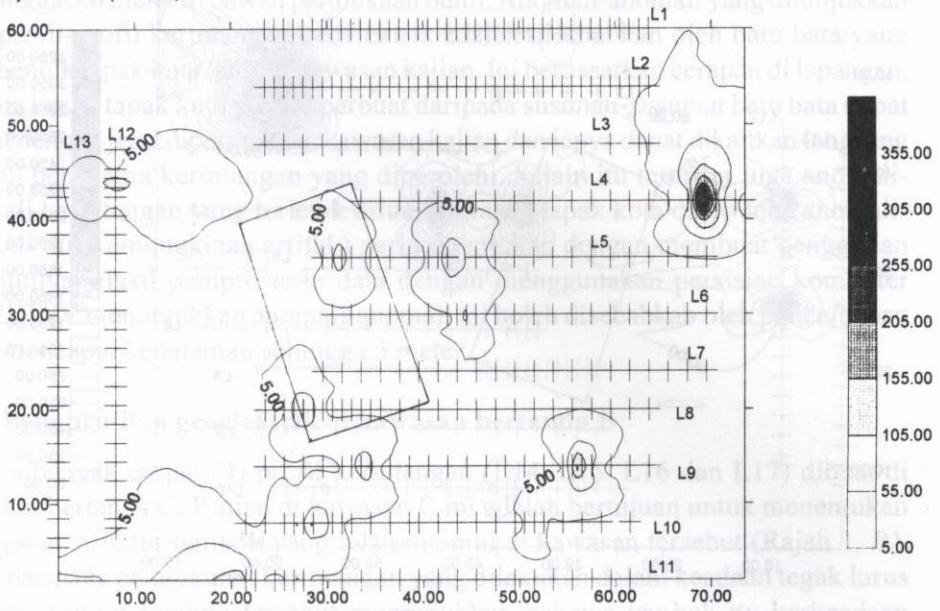
Tatarajah Wenner ($a=2$ m)



Rajah 4.

KERINTANGAN GEOELEKTRIK (ohm-m)

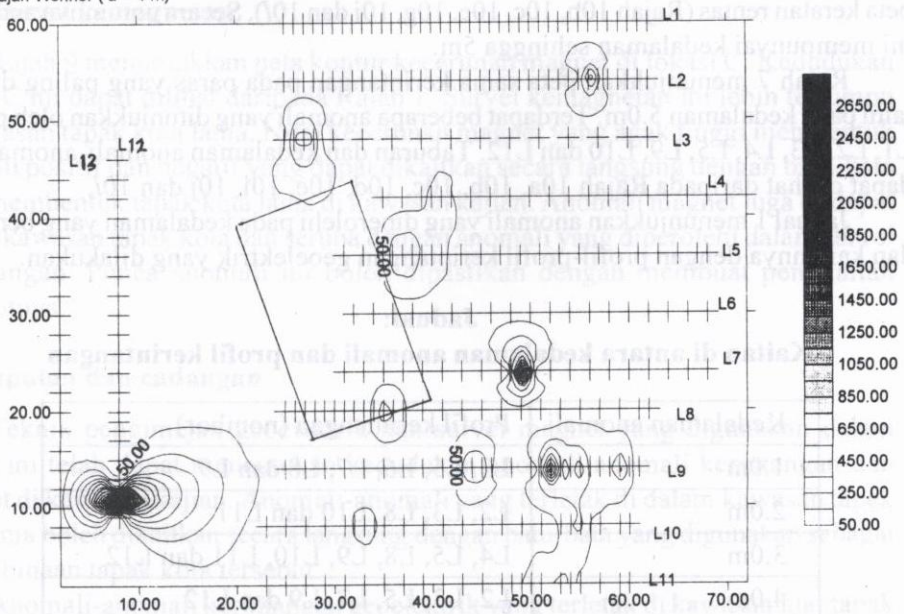
Tatarajah Wenner (a = 3 m)



Rajah 5.

KERINTANGAN GEOELEKTRIK (ohm-m)

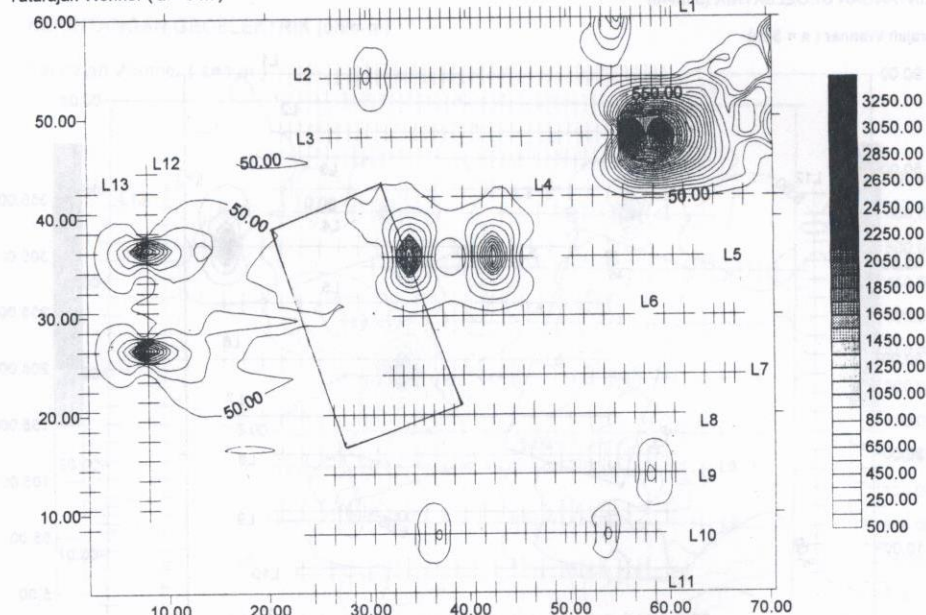
Tatarajah Wenner (a = 4 m)



Rajah 6.

KERINTANGAN GEOELEKTRIK

Tatarajah Wenner ($a = 5 \text{ m}$)



Rajah 7.

4.0m. Beberapa anomali diperolehi dan kedudukannya ditunjukkan oleh profil L2, L3, L5, L7, L9 dan L12. Saiz dan kedalaman punca anomali ini ditunjukkan oleh peta keratan rentas (Rajah 10b, 10c, 10e, 10g, 10i dan 10l). Secara umumnya anomali ini mempunyai kedalaman sehingga 5m.

Rajah 7 menunjukkan peta sama kerintangan pada paras yang paling dalam iaitu pada kedalaman 5.0m. Terdapat beberapa anomali yang ditunjukkan oleh profil L1, L2, L3, L4, L5, L9, L10 dan L12. Taburan dan kedalaman anomali-anomali ini dapat dilihat daripada Rajah 10a, 10b, 10c, 10d, 10e, 10i, 10j dan 10l.

Jadual 1 menunjukkan anomali yang diperolehi pada kedalaman yang berbeza dan kaitannya dengan profil-profil kerintangan geoelektrik yang dilakukan.

Jadual:

Kaitan di antara kedalaman anomali dan profil kerintangan

Kedalaman anomali	Profil kerintangan (nombor)
1.0m	L3, L5, L6, L7, L8 dan L9
2.0m	L2, L3, L8, L10 dan L11
3.0m	L4, L5, L8, L9, L10, L11 dan L12
4.0m	L2, L3, L5, L7, L9 dan L12
5.0m	L1, L2, L3, L4, L5, L9, L10 dan L12

Rajah 8 menunjukkan secara tiga dimensi, kedudukan, magnitud dan saiz kesemua anomali kerintangan geoelektrik yang diperolehi pada paras kedalaman 1.0 hingga 5.0 meter di bawah permukaan bumi. Anomali-anomali yang ditunjukkan oleh profil-profil kerintangan geoelektrik adalah disebabkan oleh batu bata yang membentuk tapak kota lama di kawasan kajian. Ini berdasarkan cerapan di lapangan, dimana kesan tapak kota yang diperbuat daripada susunan-susunan batu bata dapat dilihat dengan jelas dipermukaan kawasan kajian dan ianya dapat dikaitkan langsung dengan peta sama kerintangan yang diperolehi. Selain itu terdapat juga anomali-anomali kerintangan yang terletak diluar kawasan tapak kota dan punca anomali-anomali ini (kemungkinan artifak) perlu ditentukan dengan membuat penggalian selanjutnya. Hasil pemprosesan data dengan menggunakan persisian komputer RES2DINV menunjukkan anomali-anomali ini boleh disebabkan oleh punca/bahan yang mencapai kedalaman sehingga 5 meter.

(ii) Pengprofilan geoelektrik di kawasan bertanda B

Sebanyak empat (4) profil kerintangan (L14, L15, L16 dan L17) dibuat di kawasan bertanda C. Kajian di kawasan C ini adalah bertujuan untuk menentukan kelanjutan struktur tembok yang telah ditemui di kawasan tersebut (Rajah 1, B). Hasil daripada pengukuran kerintangan yang dilakukan dalam keadaan tegak lurus dengan struktur tembok tersebut menunjukkan bahawa tembok itu berkeadaan memanjang dan merentasi profil L14, L15 dan L16. Struktur tembok itu tidak dikesan dalam profil L17.

(iii) Survei kemagnetan

Rajah 9 menunjukkan peta kontur kecerunan magnet di lokasi C. Kedudukan lokasi C ini dapat dilihat daripada Rajah 1. Survei kemagnetan ini lebih tertumpu di kawasan tapak kota lama. Nilai kecerunan magnet yang agak tinggi membentuk anomali positif dan negatif yang dapat dikaitkan secara langsung dengan batu-bata yang membentuk tapak kota lama di kawasan kajian. Anomali magnet juga terdapat di luar kawasan tapak kota dan serupa dengan anomali yang diperolehi dalam survei kerintangan. Punca anomali ini boleh dipastikan dengan membuat penggalian selanjutnya.

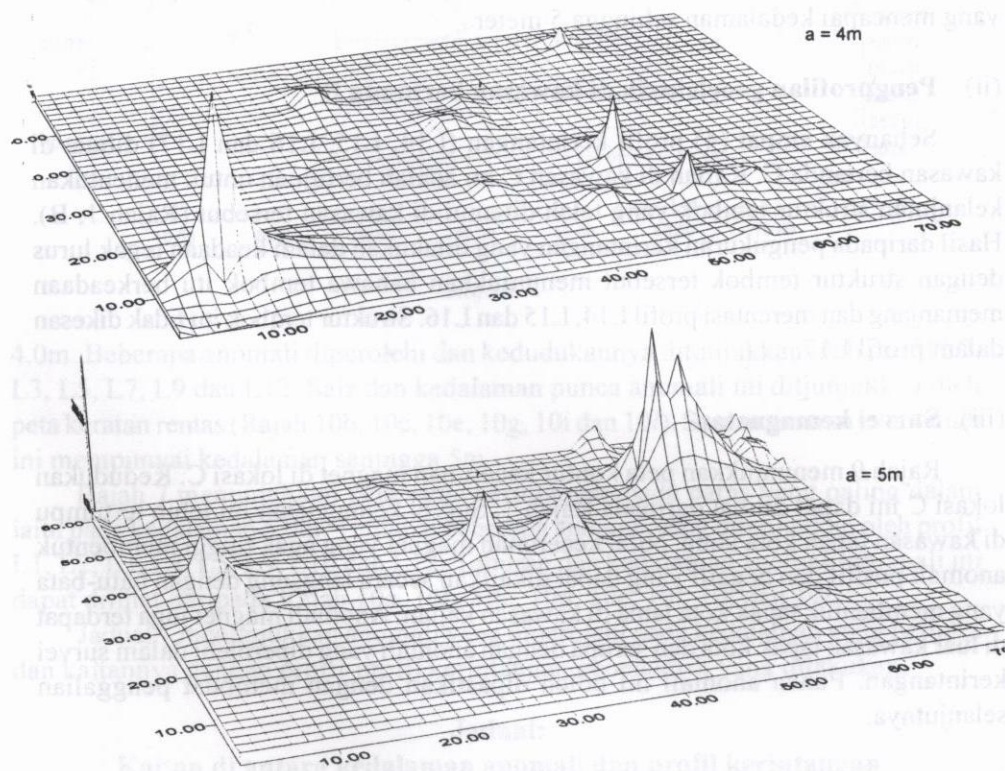
Kesimpulan dan cadangan

Teknik pengimejan geoelektrik dan survei magnet yang digunakan dalam kajian ini telah dapat menentukan kedudukan anomali-anomali kerintangan dan magnet di kawasan kajian. Anomali-anomali yang terletak di dalam kawasan tapak kota lama boleh dikaitkan secara langsung dengan batu-bata yang digunakan sebagai bahan binaan tapak kota tersebut.

Anomali-anomali kerintangan geoelektrik yang terletak di kawasan luar tapak kota lama tersebut perlu dipastikan puncanya sama ada disebabkan oleh bahan

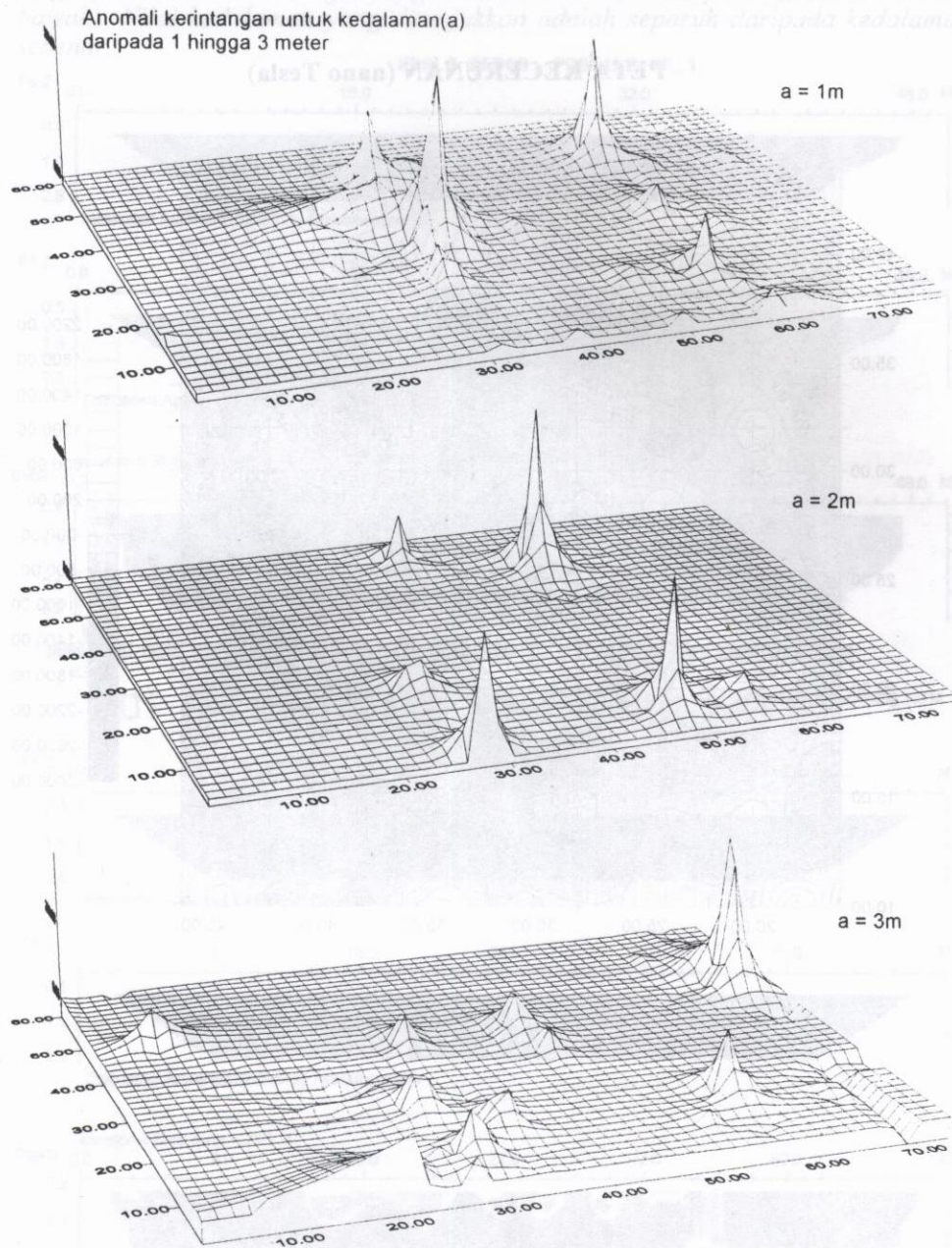
KAJIAN GEOFIZIK KOTA KUALA KEDAH

Anomali kerintangan untuk kedalaman (a)
daripada 4 hingga 5 meter.

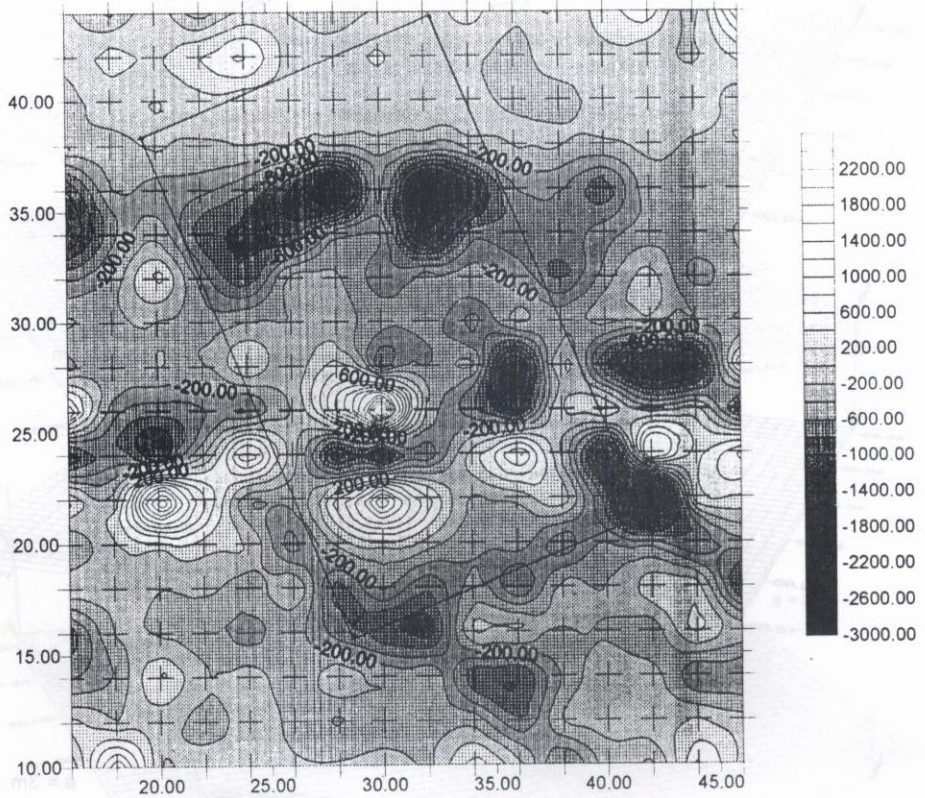


Rajah 8.

Rajah 8 (sambungan)

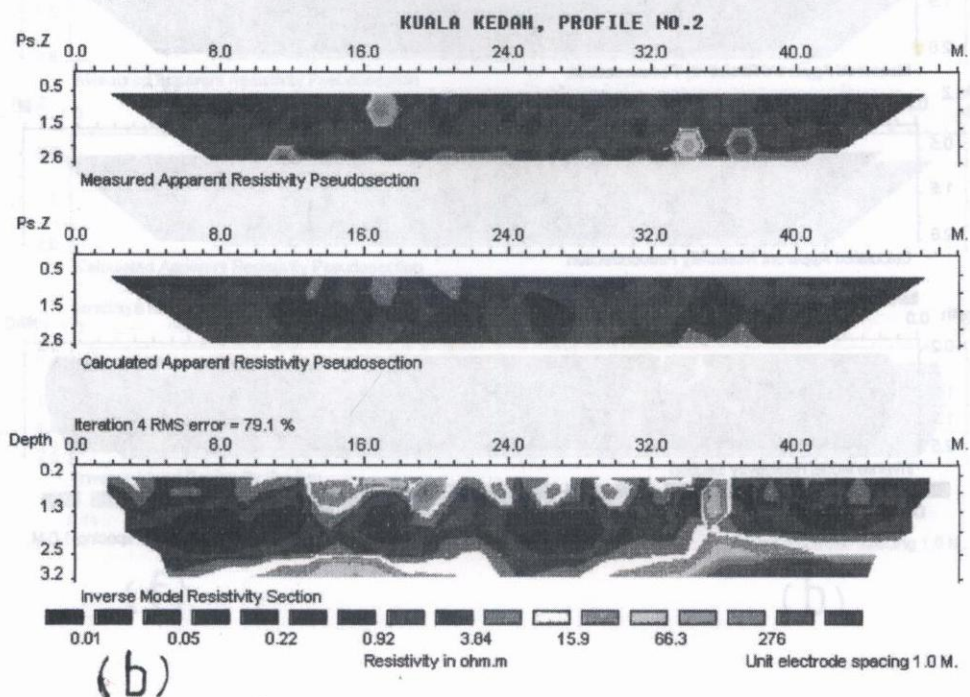
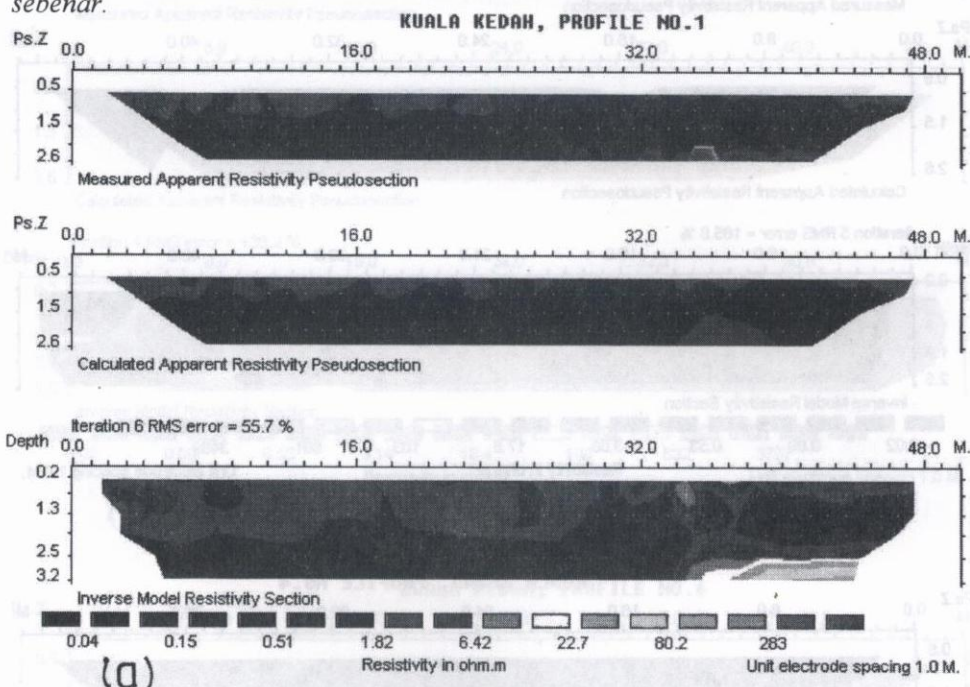


PETA KECERUNAN (nano Tesla)

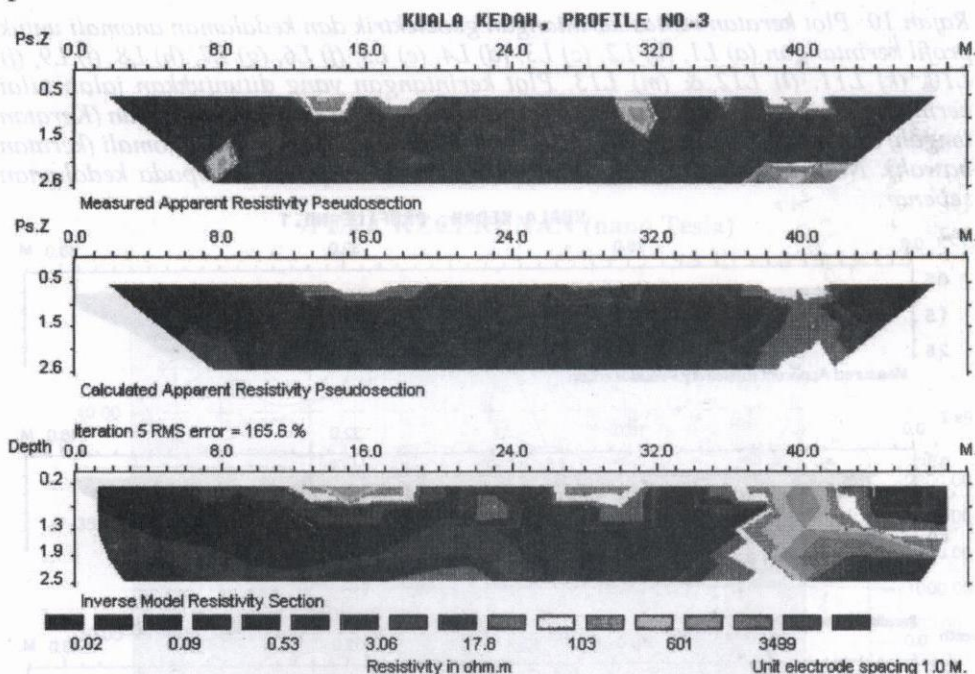


Rajah 9.

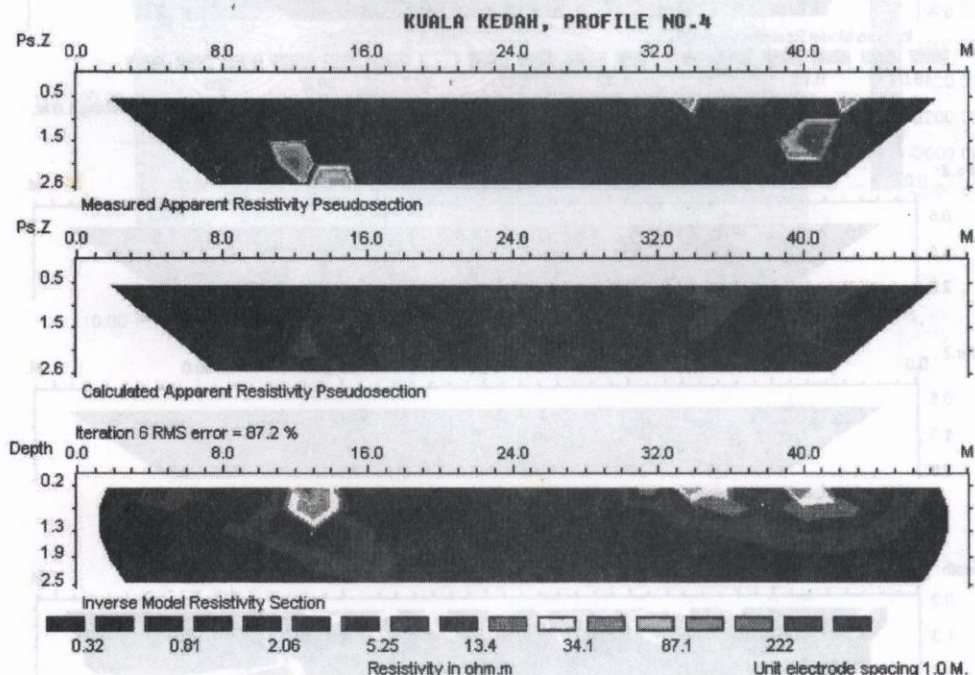
Rajah 10: Plot keratan rentas kerintangan geoelektrik dan kedalaman anomali untuk profil kerintangan (a) L1, (b) L2, (c) L3, (d) L4, (e) L5, (f) L6, (g) L7, (h) L8, (i) L9, (j) L10, (k) L11, (l) L12 & (m) L13. Plot kerintangan yang ditunjukkan ialah nilai kerintangan yang diukur dilapangan (keratan atas), nilai kerintangan kiraan (Keratan tengah) dan model kerintangan yang memberikan kedalaman punca anomali (keratan bawah). Nilai kedalaman yang ditunjukkan adalah separuh daripada kedalaman sebenar.



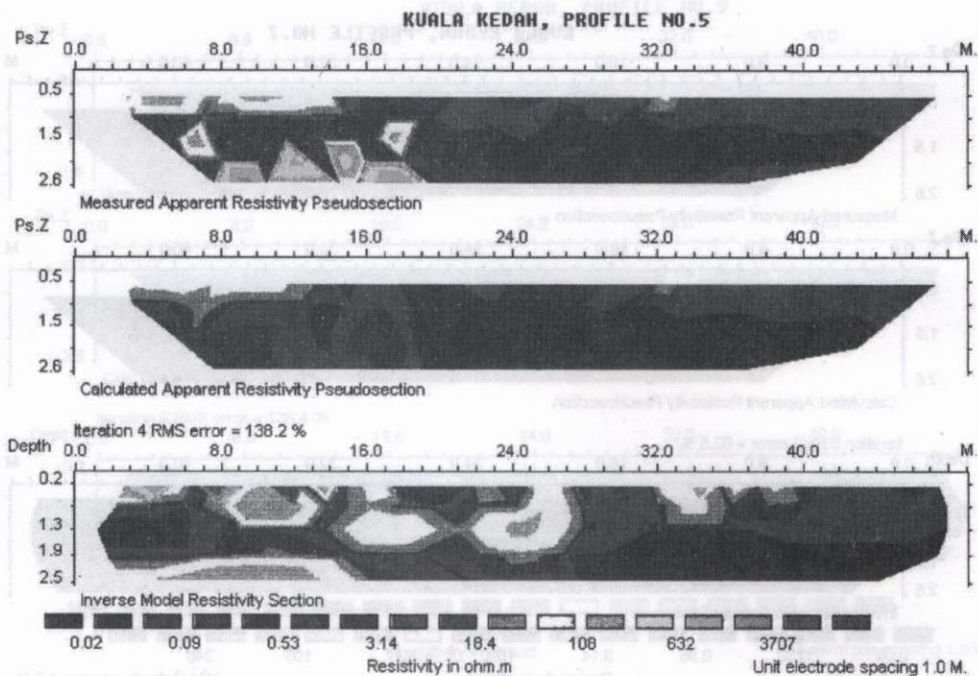
I



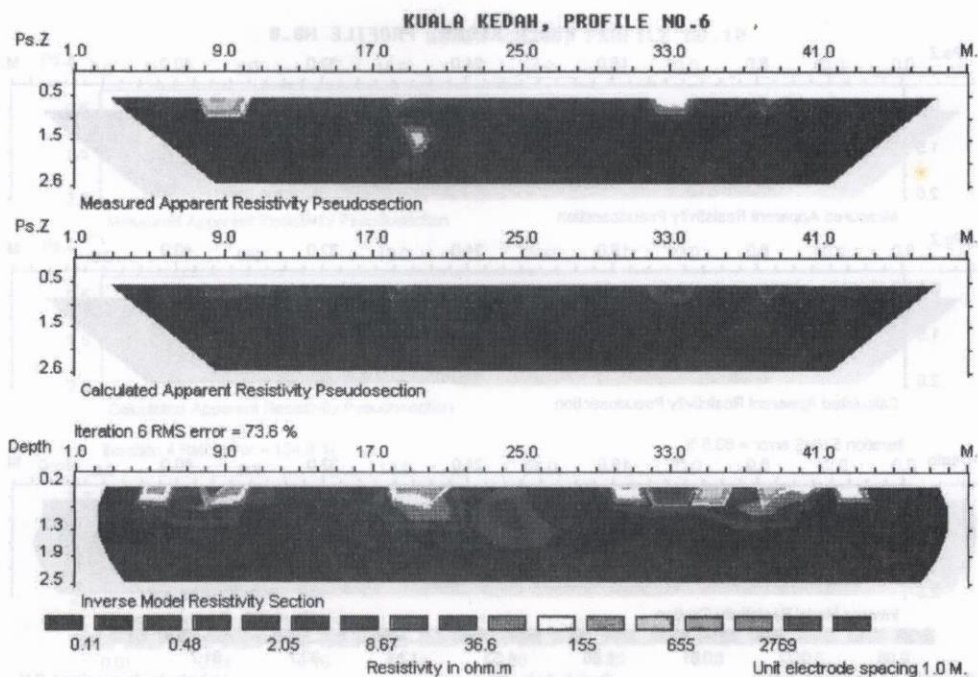
(C)



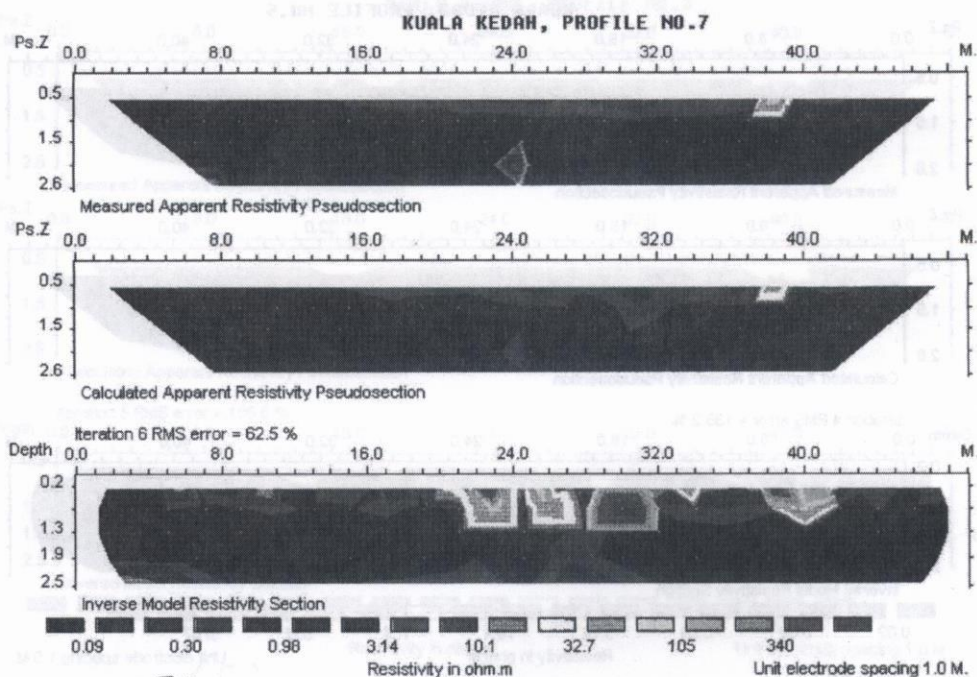
(d)



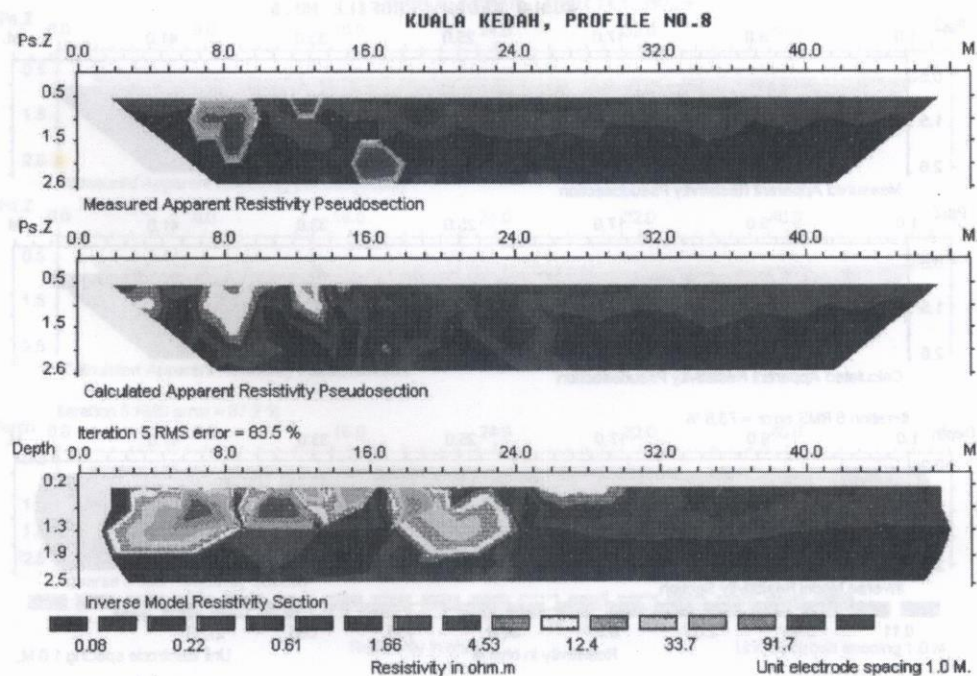
(e)



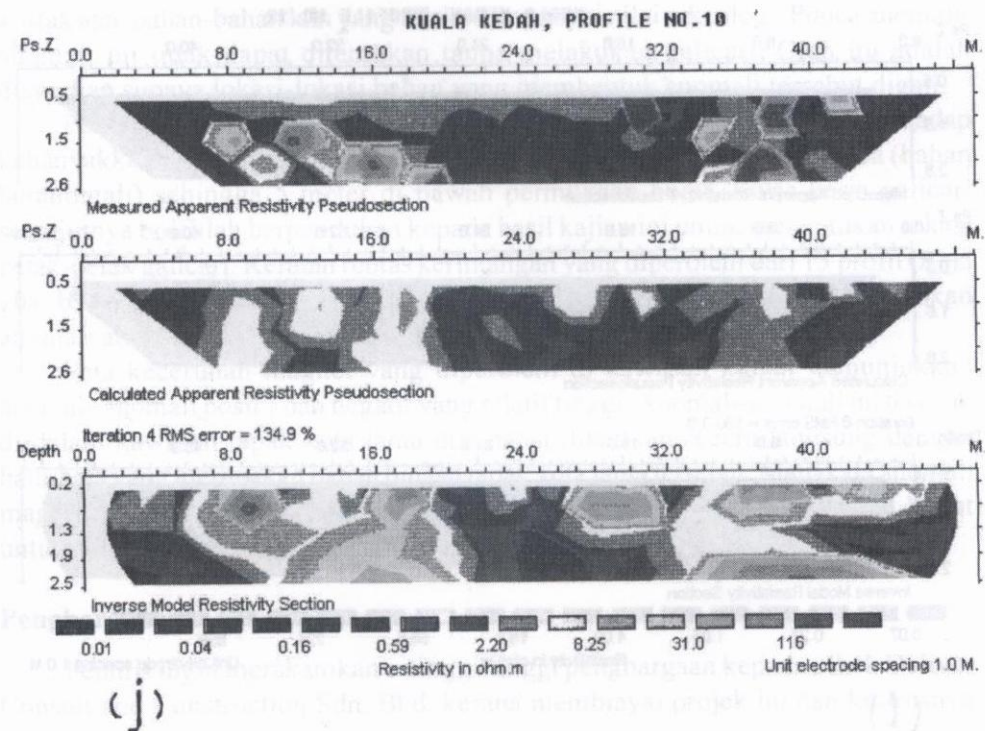
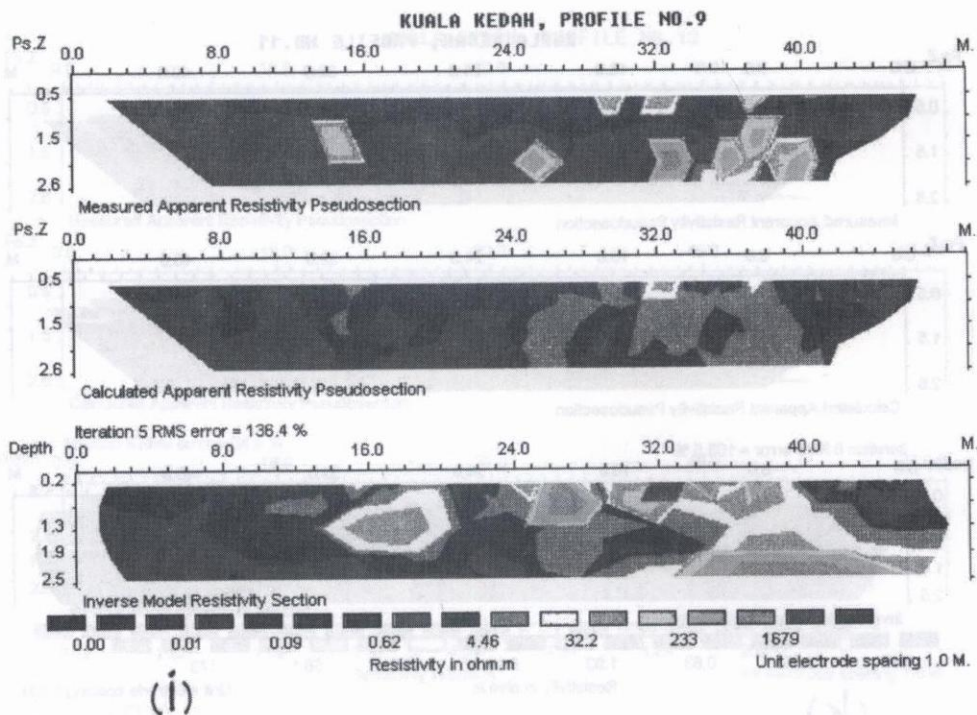
(f)

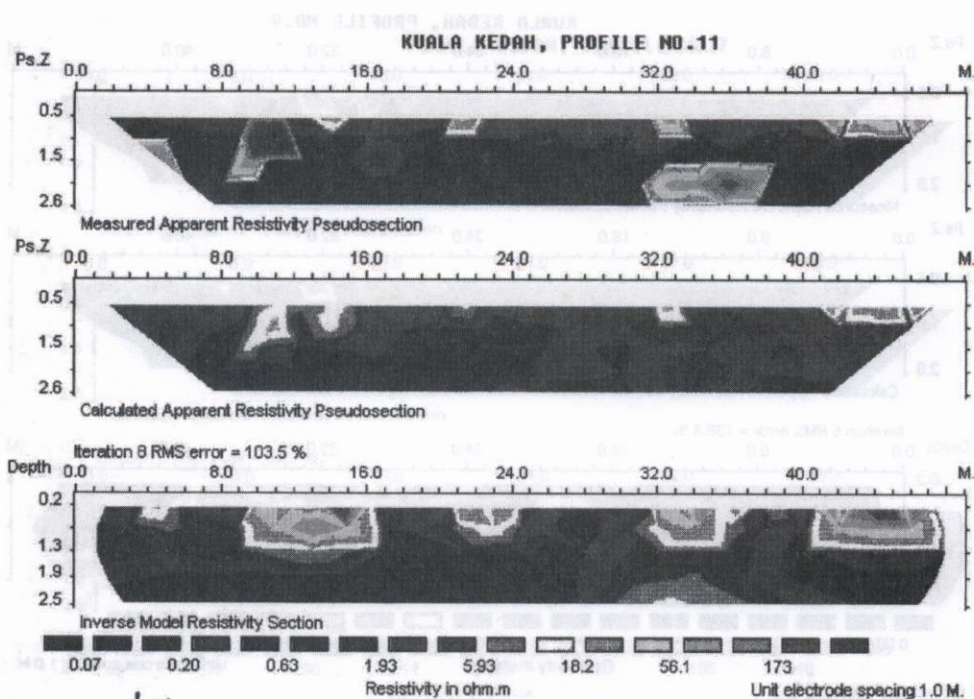


(g)

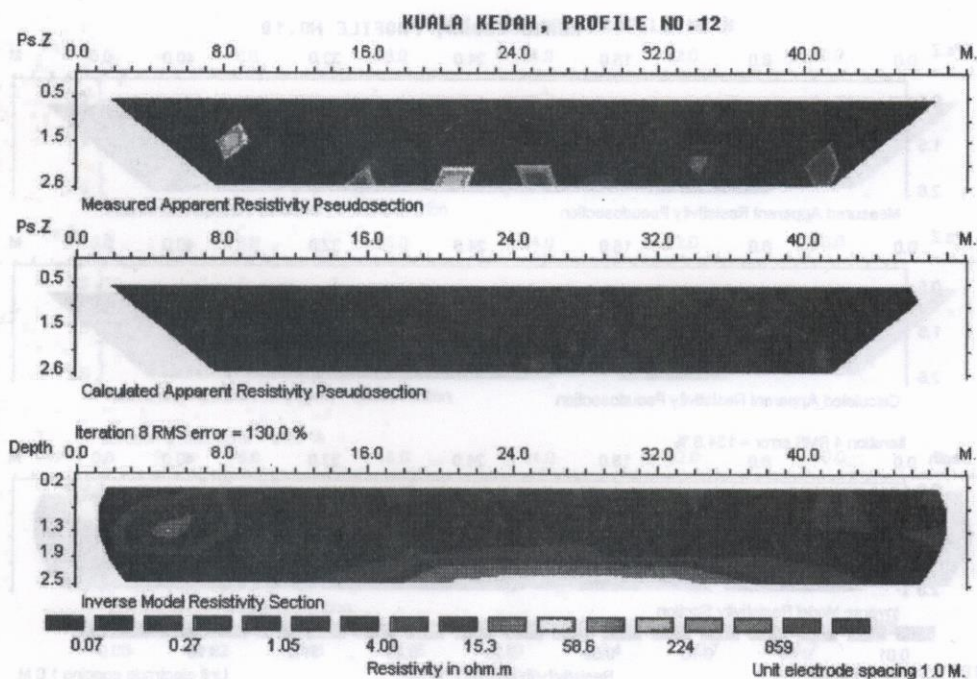


(h)

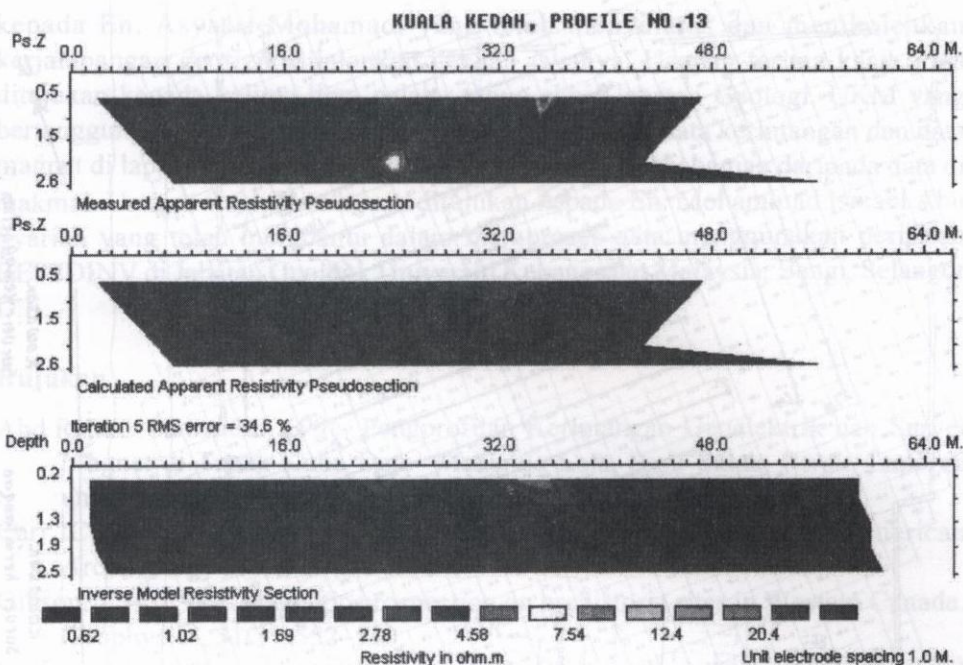




(k)



(l)



(m)

artifak atau bahan-bahan lain yang tidak mempunyai nilai arkeologi. Punca anomali-anomali ini tidak dapat ditentukan tanpa melakukan galicari. Oleh itu adalah disyorkan supaya lokasi-lokasi bahan yang membentuk anomali tersebut digali.

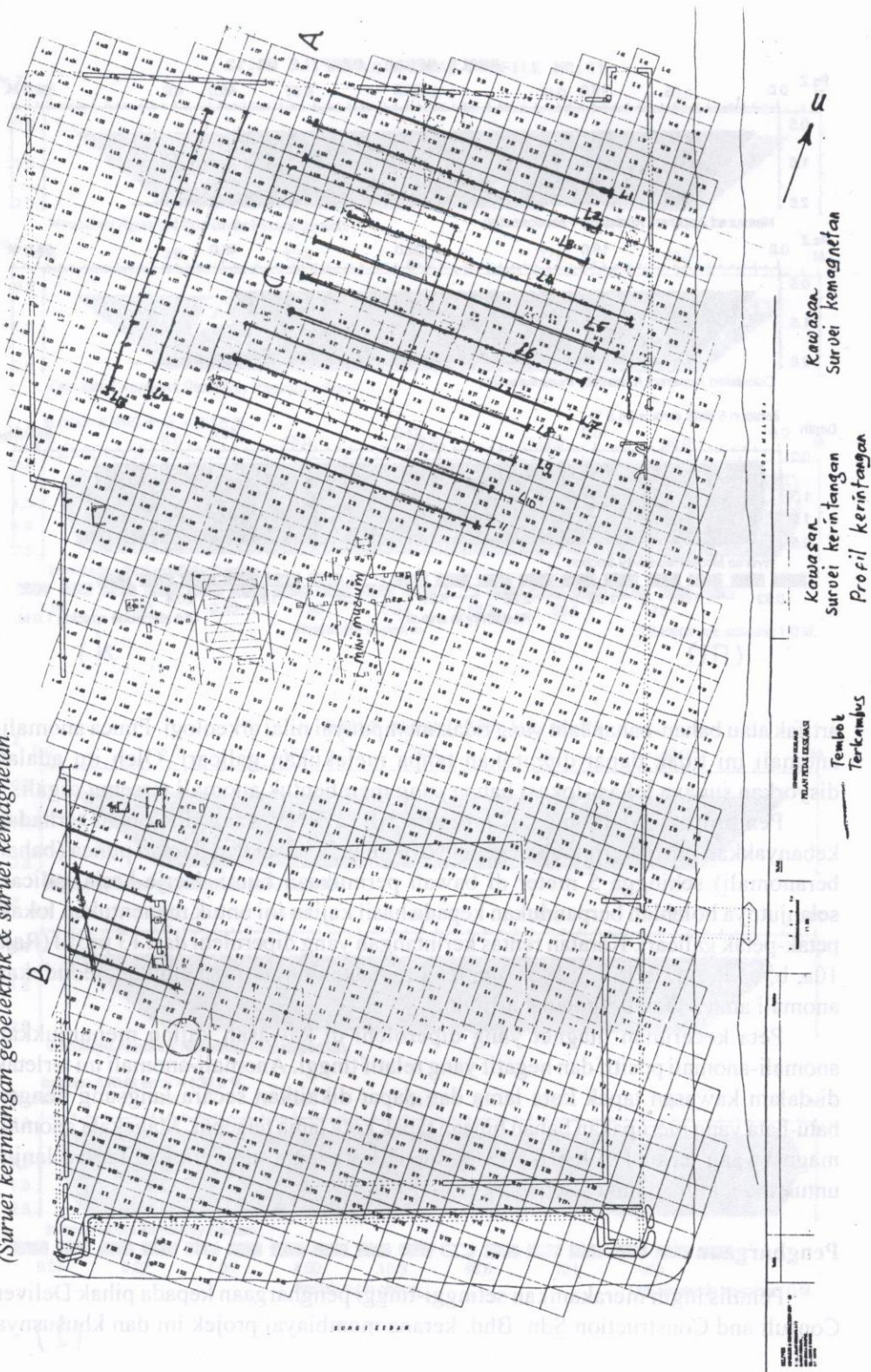
Pemrosesan data melalui program RES2DINV yang dilakukan terhadap kebanyakan profil kerintangan geoelektrik memberikan kedalaman punca (bahan beranomali) sehingga 5 meter di bawah permukaan bumi. Kerja-kerja galicari selanjutnya bolehlah berpandukan kepada hasil kajian ini untuk menentukan lokasi petak-petak galicari. Keratan rentas kerintangan yang diperolehi dari 13 profil (Raja 10a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k & l) boleh digunakan untuk menentukan kedudukan anomali atau bahan berpotensi artifak.

Peta kecerunan magnet yang diperolehi di kawasan kajian menunjukkan anomali-anomali positif dan negatif yang relatif tinggi. Anomali-anomali ini terletak di dalam kawasan tapak kota lama dan dapat dikaitkan secara langsung dengan batu-bata yang merupakan bahan binaan tapak kota lama tersebut. Manakala anomali magnet yang terletak diluar kawasan tapak kota lama memerlukan kajian lanjut untuk menentukan punca sebenarnya.

Penghargaan

Penulis ingin merakamkan setinggi-tinggi penghargaan kepada pihak Deliver Consult and Construction Sdn. Bhd. kerana membiayai projek ini dan khususnya

Rajah 1: Kajian Geofizik Kota Kuala Kedah
(Survei kerintangan geoelektrik & survei kemagnetan).



kepada En. Asyaari Mohamad, yang telah menyelaraskan dan membolehkan kerjalapangan geofizik dijalankan dengan jayanya. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada kelima-lima pelajar tahun akhir Jabatan Geologi, UKM yang bertanggungjawab sepenuhnya untuk mengumpul data kerintangan dan data magnet di lapangan dan membantu dalam memproses sebahagian daripada data di makmal. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada En. Mohammad Ismael Abu Syariah yang telah membantu dalam memproses data menggunakan perisian RES2DINV di Jabatan Geologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi, Selangor D.E.

Rujukan

- Abd Rahim Samsudin, 1996. Pengprofilan Kerintangan Geoelektrik dan Survei Magnet di Tapak Kubu Dato' Maharaja Lela, Pasir Salak, Perak, Laporan untuk Muzium Negara Malaysia, Jabatan Muzium, Kuala Lumpur.
- Carr, C., 1982. Handbook on soil resistivity surveying. Center for American Archaeology Press, Evanston, IL.
- Gibson, T.H., 1986. Magnetic prospection on prehistoric sites in Western Canada. *Geophysics*, 51(3), 552–560.
- Keller, G.V. & Frischknecht, F.C., 1997. Electrical methods in geophysical prospecting, 178–188, Oxford, Pergamon Press.
- Loke, M.H., 1996. The use of electrical imaging for mapping subsurface pollution, Prosiding Seminar Geologi dan Sekitaran: Impak dan Pengauditan, Jabatan Geologi, Universiti Kebangsaan Malaysia.
- Umar Hamzah & Abd. Rahim Samsudin, 1995. Teknik pengprofilan geoelektrik dalam eksplorasi arkeologi di Sungai Mas, Kota Kuala Muda, Kedah, *Sains Malaysiana*, 24(1), 299–44.
- Vaughn, C.J., 1986. Ground-penetrating radar surveys used in archaeological investigations, *Geophysics*, 52(3), 595–604.
- Young, C.T. & Droege, D.R., 1986. Archaeological applications of resistivity and magnetic methods at Fort Wilkins State Park, Michigan, *Geophysics*, 51(3), 568–575.