

Penyelidikan Arkeologi menggunakan Kaedah Keberintangan Elektrik di Bukit Suring, Lenggong, Perak, Malaysia

(Archaeological Research using Electrical Resistivity Method at Bukit Suring, Lenggong, Perak, Malaysia)

NOR AMIRA SHAROM¹, NOR KHAIRUNNISA TALIB^{1*}, NORDIANA MUZTAZA², SHYEH SAHIBUL KARAMAH MASNAN¹ & VELAT BUJENG¹

¹*Pusat Penyelidikan Arkeologi Global, 11800 USM, Pulau Pinang, Malaysia*

²*Pusat Pengajian Sains Fizik, Universiti Sains Malaysia, 11800 USM, Pulau Pinang, Malaysia*

Diserahkan: 9 April 2025/Diterima: 29 Julai 2025

ABSTRAK

Tinjauan awal di Bukit Suring terhadap permukaan teres bukit menunjukkan potensi kewujudan sungai kuno yang mungkin pernah mengalir di kawasan ini pada masa lalu. Bagi mengesahkan hipotesis ini, satu kajian geofizik telah dijalankan menggunakan kaedah keberintangan elektrik dua dimensi (2D) untuk mengenal pasti bukti geologi di bawah permukaan. Kajian ini bertujuan untuk mengesan kesan tinggalan sungai kuno, termasuk kehadiran sedimen seperti aluvium, pasir dan batu pasir. Metodologi ini melibatkan penggunaan elektrod bagi mengukur nilai keberintangan elektrik 2D yang dapat membezakan variasi material di sub-permukaan. Hasil kajian menunjukkan kehadiran kelikir sungai yang memberikan petunjuk jelas mengenai kewujudan sistem sungai kuno di kawasan ini. Fenomena ini turut mencerminkan keadaan di tapak Paleolitik di Lembah Lenggong dengan kewujudan sungai kuno berperanan penting dalam menyokong kehidupan manusia prasejarah. Sungai Perak kuno dipercayai menjadi sumber air utama dan kelikir untuk pembuatan alat batu serta kawasan strategik bagi penempatan manusia awal di Lembah Lenggong, sebagaimana yang dapat dihipotesiskan bagi tapak Paleolitik Bukit Suring. Data yang diperoleh dalam kajian ini diproses menggunakan perisian RES2DINV bagi menghasilkan imej dua dimensi berwarna yang dapat menunjukkan ketebalan lapisan kelikir, ketebalan tanah serta kepadatannya, seterusnya menyumbang kepada pemahaman yang lebih mendalam tentang landskap purba dan kemungkinan kaitannya dengan aktiviti manusia prasejarah.

Kata kunci: Arkeologi; Bukit Suring; geofizik; keberintangan elektrik; sungai kuno

ABSTRACT

A preliminary survey at Bukit Suring on the terrace surfaces of the hill suggests the potential existence of an ancient river that may have once flowed through this area in the past. To confirm this hypothesis, a geophysical study was conducted using the two-dimensional (2D) resistivity method to identify geological evidence beneath the surface. This study aims to detect traces of the ancient river, including the presence of sediments such as alluvium, sand, and sandstone. The methodology involves the use of electrodes to measure resistivity values, which can differentiate variations in subsurface materials. The results of the study indicate the presence of river gravels, providing clear evidence of an ancient river system in the area. This phenomenon also reflects conditions at Palaeolithic sites in the Lenggong Valley, where the existence of ancient rivers played a crucial role in supporting prehistoric human life. The ancient Sungai Perak is believed to have been a primary water source and a provider of gravel for stone tool-making, as well as a strategic location for early human settlements in the Lenggong Valley, similar to what can be hypothesized for Bukit Suring. The data obtained from this study was processed using RES2DINV software to produce colorized two-dimensional images that illustrate the thickness of the gravel layer, soil depth, and its density, thereby contributing to a deeper understanding of the ancient landscape and its possible connection to prehistoric human activities.

Keywords: Ancient river; archaeology; Bukit Suring; geophysics; resistivity

PENGENALAN

Dalam penyelidikan arkeologi moden, penerapan kaedah saintifik seperti geofizik semakin penting sebagai pendekatan untuk mengenal pasti ciri sub-permukaan tanpa perlu menjejaskan integriti tapak kajian. Salah satu kaedah yang boleh digunakan dalam kajian ini adalah kaedah

keberintangan elektrik dua dimensi (2D), ia membolehkan pencirian struktur bawah tanah melalui variasi sifat elektrik medium geologi. Kaedah ini telah digunakan di tapak Paleolitik Bukit Suring, yang terletak pada ketinggian 170-180 meter dari aras laut, dengan koordinat Utara 5.137423° dan Timur 100.997015° (Rajah 1). Salah satu kelebihan

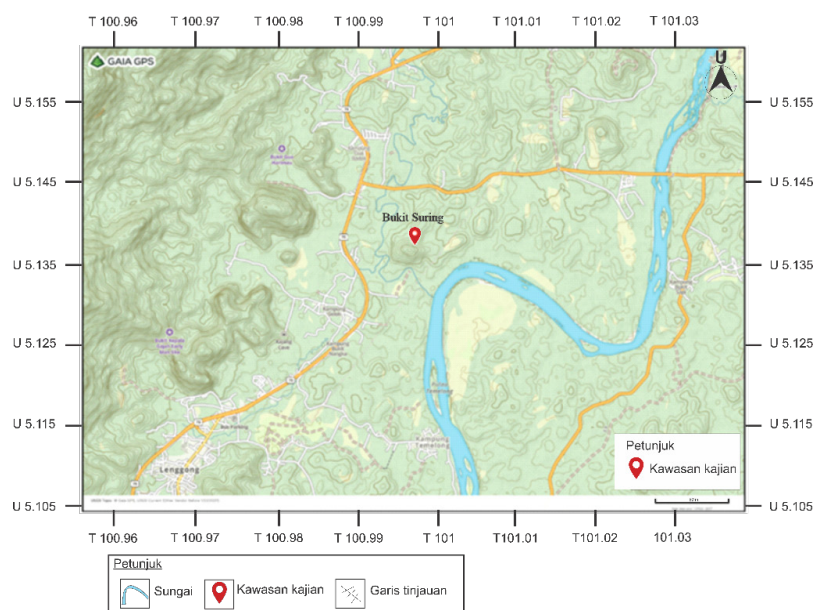
penggunaan kaedah ini adalah, ia tidak merosakkan tapak kajian seperti tapak arkeologi dan kawasan sekitarnya (Hachay & Khachay 2019). Kaedah ini lebih menjimatkan masa kerana tidak perlu melakukan proses galian untuk melihat lapisan sub-permukaan tanah. Oleh demikian, keberintangan 2D boleh ditakrifkan sebagai unit yang dapat diukur dalam bentuk Ohm-meter ($\Omega.m$).

Menurut Kearey, Brooks dan Hill (2013), kaedah keberintangan elektrik 2D ini berfungsi dengan mengalirkan arus elektrik melalui susunan elektrod bagi mengesan variasi ketahanan elektrik tanah dan batuan lalu akan menghasilkan kepelbagaian potensi mengikut kawasan kajian. Selain itu, nilai keberintangan elektrik merujuk kepada parameter geologi, kandungan bendalir serta ketepuan air di dalam lapisan tanah dan batuan. Keberintangan elektrik dapat diukur daripada hubungan arus elektrik yang dikenakan terhadap susunan elektrod pada jarak yang telah ditetapkan sebelum menjalankan kajian. Hasil keberintangan elektrik bagi kaedah Loke (1999) akan diukur di dalam unit (p) bagi nilai keupayaan material seperti batu, tanah dan air bawah tanah untuk memberikan pengaliran arus elektrik (I) dalam ampere (A).

Kaedah geofizik telah digunakan secara meluas dalam kajian arkeologi pada hari ini (Campana & Piro 2008; El-Qady & Metwaly 2019; Witten 2017). Terdapat persoalan yang sering dipersoalkan melalui kaedah ini iaitu sejauh manakah kedalaman dasar batuan yang dapat dikesan oleh peralatan tersebut (Olenchenko et al. 2020). Maklumat yang diperolehi secara tepat mengenai kedalaman dasar batuan terluluhawa akan memberikan pemahaman dan merancang secara teliti untuk menjalankan penggalian di kawasan tersebut. Perkembangan dalam tinjauan pemetaan

tomografi keberintangan elektrik 2D untuk memetakan kawasan dengan geologi yang agak kompleks (Griffiths & Barker 1993). Tinjauan pemprofilan keberintangan elektrik dua dimensi (2D) dijalankan dalam kajian arkeologi bagi mengesan variasi sisi dan menegak keberintangan elektrik. Penggunaan teknik keberintangan elektrik 2D ini berkesan untuk menunjukkan variasi tanah yang berbeza pada setiap lapisan (Shaaban & Shaaban 2001). Kaedah lain adalah meletakkan kedudukan menegak titik pemetaan pada kedalaman median kajian (Edwards 1977) atau pseudo-kedalaman, bagi rangkaian elektrod yang digunakan. Di bahagian atas bumi merujuk kepada 'kedalaman median kajian' yang mempunyai potensi diukur seperti di bahagian bawah (Edwards 1977). Ini memberikan gambaran kasar mengenai sejauh mana rangkaian elektrod itu berfungsi. Selain itu, keupayaan dalam mengesan anomali di kawasan setempat berguna untuk aplikasi tambahan (Imai, Sakayama & Kanemori 1987). Kajian geofizik ini sangat memudahkan ahli arkeologi untuk mengesan variasi kewujudan hidrologi bawah permukaan tanah berlaku (Shaaban & Shaaban 2001). Pada dasarnya, tomografi oleh keberintangan elektrik 2D merupakan pengumpulan beberapa profil dalam sesuatu kawasan, melalui jarak elektrod yang tinggi dan berturut-turut sepanjang satu garisan (Tsokas, Tsourlos & Papadopoulos 2008).

Selain itu, survei ini dapat dikaitkan bagi memperoleh data geoteknik dalam mengenalpasti keadaan tanah dan batuan di dalam permukaan. Kaedah keberintangan elektrik 2D dapat digunakan secara meluas kerana kita dapat memahami tentang geologi kawasan, sumber air dan potensi kawasan tersebut pada ketika dahulu. Barker (1999) dan Griffiths dan Barker (1993) memberikan pendedahan



RAJAH 1. Peta topografi tapak arkeologi Bukit Suring, Lenggong Perak (Utara 5.137423°, Timur 100.997015°)

mengenai kaedah secara pengimejan geoelektrik dijalankan di kawasan berpotensi untuk kehadiran geologi batuan secara kompleks manakala kaedah lain tidak sesuai digunakan untuk memberikan maklumat subpermukaan kerana kawasan yang luas. Kajian keberintangan mempunyai keupayaan untuk mengesan ciri fizikal pasir serta kehadiran kelikir. Selain itu, menurut Nowroozi, Whittecar dan Daniel (1997), tahap luluhawa mempunyai perbezaan yang dapat dilihat di dalam profil keberintangan elektrik.

Melalui kajian dalam konteks arkeologi, kewujudan sungai kuno sering memainkan peranan dengan penempatan manusia awal yang bergantung dengan sumber batuan dan sumber mineral. Saluran sungai kuno yang telah tertimbus mempunyai nilai keberintangan yang rendah dan sederhana bergantung kepada komposisi sedimen seperti kelikir, pasir dan air (Loke 2004; Milsom & Eriksen 2011). Kajian arkeologi yang telah dijalankan di Hulu Perak sejak 1987 telah mendedahkan bukti kewujudan dan kepentingan Sungai Perak kuno kepada masyarakat prasejarah. Menurut Mokhtar (2006a), pemilihan kawasan penempatan sungai adalah berdasarkan kepada ciri mempunyai kelikir sungai, sumber air tawar (sungai atau tasik), flora dan fauna yang merupakan keperluan asas harian. Selain itu, kajian Zuraina dan Tjia (1988) telah memberikan pendedahan mengenai pembentukan tasik kuno yang terjadi secara semula jadi dan disebabkan runtuh besar yang telah menyekat pengaliran Sungai Perak. Menurut Mokhtar dan Jeffrey (2007), Sungai Perak kuno telah mengalami beberapa kali perubahan iaitu sebanyak lima kali kepada kedudukan yang terkini berdasarkan kepada kewujudan teres berkelikir. Penemuan Bukit Suring secara langsung bukan sahaja mengisi jurang data arkeologi sedia ada, malah menyediakan ruang baharu untuk kajian bersifat interdisiplin, termasuk aspek geologi, analisis paleoalam dan tafsiran budaya material yang lebih komprehensif.

ISU DAN MASALAH

Walaupun kaedah keberintangan elektrik 2D dapat memberikan gambaran secara menyeluruh tentang struktur sub-permukaan tanah, terdapat beberapa cabaran dalam penggunaannya. Antara isu utama adalah kesukaran dalam menentukan ketepatan kedalaman lapisan geologi serta sukar untuk membezakan lapisan semula jadi dengan lapisan kebudayaan. Dalam konteks arkeologi, tafsiran yang tidak tepat boleh menyebabkan aktiviti ekskavasi tersasar dan merosakkan tapak kajian kerana tidak menjumpai lapisan kebudayaan.

Kawasan seperti tapak Paleolitik Bukit Suring dan kawasan Lembah Lenggong merupakan tapak yang telah dikenal pasti mempunyai kepentingan tinggi dalam kajian prasejarah berdasarkan penemuan artifak, bukti penggunaan kelikir sungai dan penempatan yang strategik iaitu di tepi sungai kuno. Kaedah keberintangan elektrik 2D masih belum diaplikasikan secara menyeluruh untuk mengenal pasti anomali sub-permukaan yang mungkin

mempunyai kaitan dengan masyarakat prasejarah. Ketiadaan pendekatan secara sistematik ini boleh menyebabkan banyak kawasan yang berpotensi tidak dikaji dengan menyeluruh.

Tambahan pula, wujudnya jurang integrasi antara data geofizik dan bukti arkeologi secara menyeluruh. Data keberintangan 2D telah digunakan tanpa melihat hubungan unsur geologi yang dapat mempengaruhi penempatan prasejarah seperti jenis tanah, ketepuan batuan dan bentuk muka bumi. Di kawasan tapak Paleolitik Bukit Suring dan Lembah Lenggong terdapatnya formasi geologi dan kebudayaan prasejarah yang masih belum diterokai sepenuhnya. Keadaan ini seterusnya dapat mengehadkan keupayaan bagi mengenal pasti tapak baharu yang lebih berpotensi tinggi dari segi arkeologi.

OBJEKTIF KAJIAN

Keberintangan elektrik 2D dijalankan di tapak Paleolitik Bukit Suring bertujuan: i) menggunakan kaedah keberintangan elektrik 2D dalam penyelidikan arkeologi di tapak Paleolitik Bukit Suring bagi membolehkan pengesanan struktur di bawah sub-permukaan tanah tanpa perlu merosakkan tapak, ii) dapat menentukan kedalaman, ketebalan serta taburan lapisan kelikir, lapisan pasir yang mempunyai potensi dalam penempatan prasejarah di tapak Paleolitik Bukit Suring dan iii) menggabungkan perolehan data geofizik dengan data arkeologi bagi menyokong tentang pemilihan tapak penempatan melalui kehidupan budaya masyarakat prasejarah.

METODOLOGI

Kajian ini telah menggunakan peralatan ABEM Terrameter LS 2 untuk mendapatkan data keberintangan elektrik 2D pada kawasan yang telah dipetakan. Terdapat beberapa jenis peralatan yang diperlukan untuk kajian ini ialah elektrod (batang besi) keluli tahan karat, pelompat, dua set kabel ABEM Lund, kabel untuk tatasusunan kutub-dwikutub dan bateri. Manakala, penggunaan 41 elektrod akan ditanam di permukaan tanah pada jarak yang seragam dan selari mengikut orientasi yang telah ditetapkan. Antara 41 elektrod yang ditanam, hanya 4 elektrod yang berfungsi dalam satu masa. Contohnya, 2 elektrod pertama akan mengalirkan arus ke dalam tanah manakala 2 elektrod lagi akan mengira nilai keupayaan potensi dalam pembacaan data keberintangan elektrik semasa menjalankan kajian ini.

Selain itu, Jadual 1 menunjukkan contoh tetapan bacaan pemerolehan data kajian lapangan dalam sistem ABEM Terrameter LS2 adalah faktor yang penting agar data dapat diolah dengan tepat. Pemasangan jarak elektrod digunakan berlandaskan kepada objektif kawasan kajian. Sama ada untuk melihat tapak secara rawak atau memfokuskan kepada teres bukit yang berpotensi. Frekuensi yang digunakan semasa kajian dapat memberikan data sama ada ia menggunakan 50 atau 60 Hz. Terdapat beberapa arus elektrik tinggi yang digunakan di dalam perisian ini iaitu 200, 500 1,000 mA.

Tujuan utama suntikan arus adalah untuk membolehkan arus elektrik meresap ke bawah permukaan tanah. Sekiranya arus yang disuntik terlalu rendah (contohnya 100 mA), kawasan yang memerlukan arus lebih tinggi mungkin tidak akan menerima suntikan arus yang mencukupi, sekali gus menyebabkan data dari kawasan tersebut tidak direkodkan. Oleh itu, pemilihan arus dalam julat pertengahan seperti 500 mA adalah lebih sesuai kerana ia membolehkan suntikan arus dalam lingkungan 1-500 mA, seterusnya membolehkan data diperoleh dengan lebih menyeluruh. Sebaliknya, pemilihan arus yang terlalu tinggi seperti 1000 mA adalah tidak praktikal bagi kawasan arkeologi yang biasanya melibatkan susunan elektrod pada jarak yang pendek. Arus yang terlalu besar bukan sahaja tidak diperlukan kerana tidak menembusi jauh, malah penggunaan tenaga bateri juga akan menjadi lebih tinggi secara tidak perlu.

Oleh itu, bagi pengukuran menggunakan alat LS, arus suntikan sebanyak 500 mA adalah memadai dan merupakan pilihan terbaik berdasarkan keperluan serta keadaan tapak. Hanya 1 nilai sahaja digunakan ketika pengambilan data yang telah diset awal sebelum memulakan bacaan. Jadual 2 menunjukkan nilai bacaan yang akan diperoleh secara berbeza-beza bergantung kepada jenis permukaan. Rajah 2 pula menunjukkan carta alir gerak kerja tinjauan keberintangan elektrik 2D yang digunakan sewaktu pemprosesan data mentah sehingga model data keberintangan elektrik 2D dihasilkan bagi kajian di Bukit Suring.

GEOLOGI DAN GEOMORFOLOGI DI KAWASAN LEMBAH LENGGONG

Menurut Nor Khairunnisa (2020), Lembah Lenggong mempunyai sejarah geologi tersendiri yang diwakili oleh batuan metamorf daripada Formasi Kroh (berusia Ordovisi- Silur), batuan igneus daripada granit Banjaran

Bintang (Trias), unit aluvium dan unit tefra (debu gunung berapi Toba) (Jones 1970). Lembah Lenggong telah dikelilingi oleh bukit batu kapur (sebelah barat) dan Sungai Perak (sebelah timur) yang mengalir mengikut bentuk muka bumi melalui proses hakisan (Rajah 3). Landskap batu kapur Formasi Lenggong membentuk topografi kars yang matang dan mempunyai banyak gua. Sebahagian besar daripada gua ini telah menjadi penempatan manusia prasejarah dan tapak arkeologi penting. Satu peristiwa metamorf kejutan turut berlaku di bahagian selatan Bukit Suring yang melibatkan kejadian hentaman meteorit di Bukit Bunuh pada 1.83 juta tahun dahulu (Mokhtar 2006a) dan ia telah menyebabkan perubahan laluan sungai dan pembentukan batuan baharu yang dikenali sebagai batuan suevit.

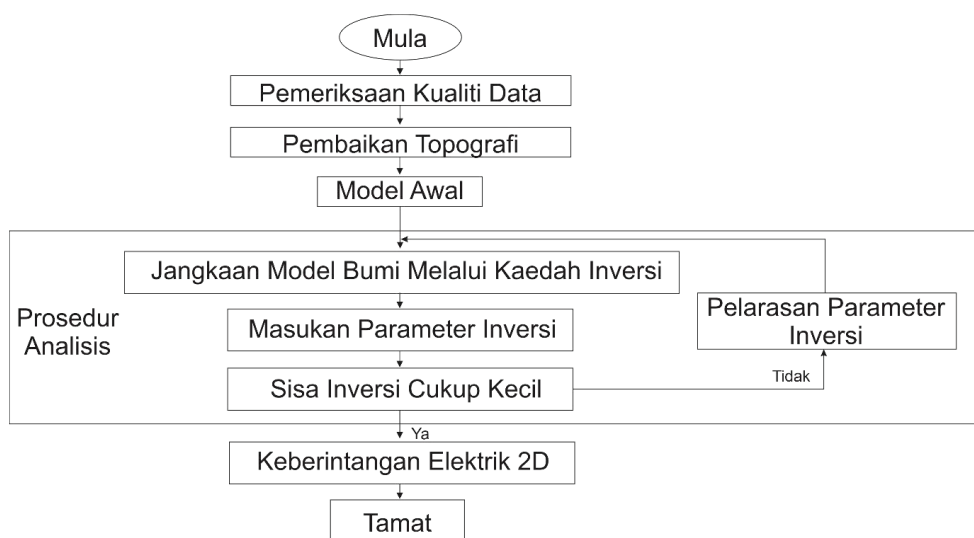
Kawasan kajian Bukit Suring turut dikenal pasti terdiri daripada batuan Formasi Kroh seperti batu kuarzit dan batu lumpur serta batuan igneus hasil rejahan Granit Bintang. Turut dikenal pasti bukti endapan Kuaterner yang diwakili oleh endapan aluvium yang terdiri daripada endapan berkelikir dan endapan lanar. Endapan berkelikir di Lembah Lenggong dicirikan oleh perkaitannya dengan budaya Paleolitik yang menunjukkan kelikirnya digunakan dalam industri alat batu. Aluvium baharu dicirikan oleh endapan pasir, lempung dan kelikir yang tak terkonsolidat hingga separa konsolidat. Ia biasa ditemui di kawasan bertanah rendah berketebalan sekitar 15 meter yang meliputi sepanjang Sungai Perak (Ismatul Hani Shada, 2005). Pengenapan aluvium baharu dikawal oleh Sungai Perak wujud hasil operasi sungai, banjir, endapan kaki bukit dan di kuala atau muara sungai. Endapan ini merupakan endapan paling muda di kawasan kajian. Proses pengangkutan oleh Sungai Perak kuno telah mengangkut kelikir kuarza dan kuarzit Papulut dari bahagian utara kawasan kajian iaitu di Gerik ke kawasan selatan sehingga ke Lenggong.

JADUAL 1. Nilai bacaan yang diambil ini akan disimpan di dalam satu set resolusi yang berbeza mengikut keperluan objektif kajian. Nilai tersebut akan dapat membezakan jenis-jenis subjek di dalam lapisan tanah

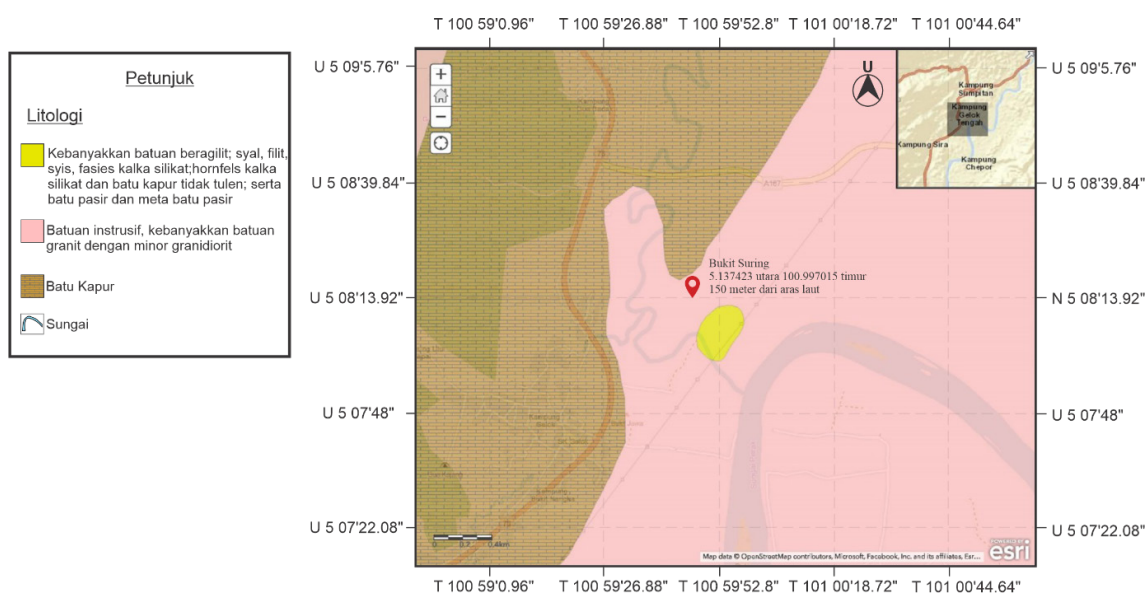
Tetapan umum untuk pemerolehan data	
Jarak elektrod terkecil	2.5 m dan 1.25 m
Kekerapan talian kuasa (Hz)	50
Tatasusunan protokol	Wenner-Schlumberger dan Kutub-Dwikutub
Arus (mA)	200
Mod	Automatik
Kelewatan pemerolehan (saat)	0.1
Masa pemerolehan (saat)	0.1
Jumlah masa kitaran (saat)	1.4
Minimum tindanan	1
Maksimum tindanan	1
Norma	Median
Min Arus (mA)	1

JADUAL 2. Nilai keberintangan elektrik batuan dan bahan tanah (Keller & Frischknecht 1996)

Bahan	Keberintangan ($\Omega.m$)
Aluvium	10 - 800
Pasir	60 - 1,000
Tanah liat	1 - 100
Air bawah tanah	10 - 100
Batu pasir	8 - 4,000
Syal	20 - 2,000
Batu kapur	50 - 4,000
Batu granit	5,000 - 1,000,000



RAJAH 2. Carta alir proses penyediaan keberintangan elektrik 2D



RAJAH 3. Peta geologi kawasan kajian di Lembah Lenggong, Perak

TERES KUNO DI LEMBAH LENGGONG

Teres kuno Sungai Perak merujuk kepada teres purba yang telah ditemui sepanjang lembangan Sungai Perak, Lenggong. Menurut Mokhtar dan Jeffrey (2007), ketinggian teres sungai telah menggambarkan perbezaan pengendapan kelikir sungai di Hulu Perak. Selain itu, teres tertinggi merupakan teres sungai yang paling awal termendap dan ia semakin mengering. Jelas menunjukkan bahawa teres yang paling tinggi adalah lebih tua berbanding teres yang rendah (Rajah 4). Nor Khairunnisa (2020) menyatakan teres sungai tersebut dapat dibahagikan kepada enam bahagian berdasarkan kepada ketinggian (Jadual 3). Teres sungai Perak telah terbentuk lebih daripada 500,000 tahun dahulu dan ia terletak pada ketinggian 150 m di atas aras laut, teres sungai 120 - 150 m di atas aras laut berusia 250,000- 500,000 tahun dahulu, teres sungai 100 - 120 m di atas aras laut berusia sehingga 100,000-250,000 tahun dahulu, manakala teres di bawah 100 m akan melibatkan 3 kumpulan usia yang memberikan usia antara 70,000- 100,000 tahun dahulu, berusia 40,000- 70,000 tahun dahulu, usia lebih muda daripada 40,000 dan lebih tua daripada 13,000 tahun dahulu (Mokhtar & Jeffrey 2007).

Tasik sungai kuno di Hulu Perak telah mendedahkan 3 kawasan iaitu di Gerik, Lawin dan Lenggong. Tasik kuno terjadi disebabkan berlakunya runtuhannya semula jadi yang mana ia menyebabkan aliran sungai perak telah tersekat lalu membentuk tasik di bahagian utara (Mokhtar & Jeffrey 2007). Kewujudan tasik kuno ini menyebabkan kelikir sungai termendap akibat daripada perubahan arus aliran sungai yang perlahan. Sejak tahun 1938, teres sungai kuno digunakan secara giat oleh masyarakat purba berikutan penemuan lokasi endapan kelikir yang digunakan sebagai sumber bahan mentah dan tempat pembuatan alat batu. Terdapat enam tapak yang ditemui di kawasan teres serta menyumbang kepada pengetahuan mengenai fungsi tapak, teknologi litik, pentarikan serta paleoalam bagi tapak-tapak di sekitar kawasan Lembah Lenggong (Naizatul Akma & Mokhtar 2024).

Selain itu, evolusi Sungai Perak kuno adalah agen yang dapat mempengaruhi asalan fluvial dalam pembentukan geomorfologi kawasan di kawasan Lembah Lenggong (Nor Khairunnisa 2020). Pembentukan teres bersama dengan morfologi dan saiz alat, teknik pengeluaran, berkemungkinan kadar pemendapan hakisan adalah lebih tinggi di kawasan ini (Zuraina 1997).

HASIL DAN PERBINCANGAN

Hasil kajian pada lapisan tanah telah memberikan parameter nilai keberintangan elektrik untuk pentafsiran lapisan tanah dan kandungan batuan. Dalam pengukuran keberintangan elektrik 2D, adalah perlu untuk mengetahui profil yang telah diplotkan selepas data diperolehi.

MODEL KEBERINTANGAN 2D

Sebanyak empat garisan keberintangan telah dipetakan di kawasan kajian (Rajah 5). Tinjauan keberintangan elektrik

2D menunjukkan tetapan kajian ini telah menggunakan kaedah Wenner-Schlumberger dengan jarak elektrod 2.5 meter dan di bahagian panjang L1 dengan jarak 100 meter. Manakala bagi L2, L3 dan L4 telah menggunakan jarak elektrod 1.25 meter dan jumlah panjangnya adalah 50 meter.

Penggunaan susunatur yang berbeza ini disebabkan tinjauan kawasan kajian yang terhad, oleh itu susunatur kutub-dwikutub digunakan bagi mendapatkan kedalaman yang setara dengan panjang 100 meter susunatur Wenner Schlumberger. Perisian Res2Dinv dan Surfer digunakan dalam pemprosesan data keberintangan. Hasil pemprosesan data keberintangan elektrik bagi L1-L4 (Rajah 6) menunjukkan kawasan kajian ini mempunyai lapisan sedimen yang tebal dan berkemungkinan didasari dengan bongkah batuan.

Jadual 4 menunjukkan nilai keberintangan elektrik pada lapisan tanah telah diasingkan kepada variasi nilai keberintangan elektrik iaitu kurang dan melebihi 100 Ω .m. Nilai keberintangan elektrik kurang daripada 100 Ω .m ditafsirkan sebagai lapisan tanah jenis lodak berpasir atau zon tepu. Sementara itu, nilai keberintangan elektrik 800-1,500 Ω .m merupakan lapisan tanah berpasir dengan kehadiran kelikir. Ia memungkinkan peredaran air yang lebih baik berbanding tanah liat atau lodak. Lapisan ini mungkin merupakan bahagian atas zon akuifer yang lebih telap atau deposit aluvium kasar. Endapan kelikir dalam saluran sungai purba biasanya membentuk lapisan akuifer berpasir dan berbatu kerikil, yang boleh menyimpan air bawah tanah. Kehadiran kelikir bersama pasir juga menunjukkan zon berporos tinggi yang berpotensi menjadi sumber air bawah tanah atau penunjuk kepada landskap geologi yang berubah dari masa ke masa. Manakala, nilai keberintangan elektrik $>2,000 \Omega$.m merupakan lapisan keras dan padat seperti lapisan tanah laterit atau lapisan batuan dasar. Keberintangan elektrik yang tinggi menunjukkan bahan yang kurang poros yang memberikan nilai keberintangan yang tinggi.

EKSKAVASI ARKEOLOGI

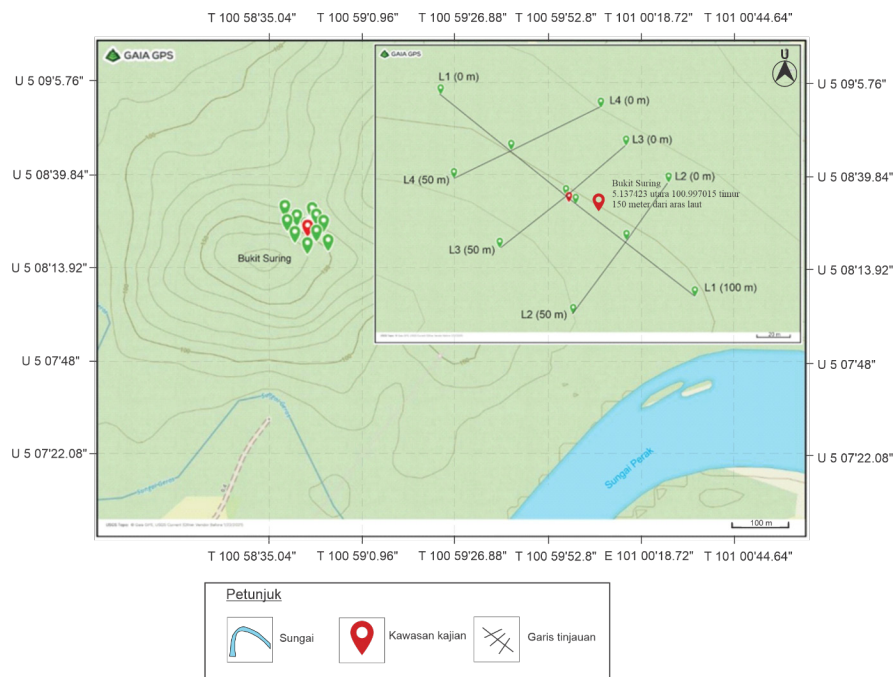
Pemetaan topografi dilakukan bagi mengenal pasti paras ketinggian petak ekskavasi dari aras laut. Paras tertinggi petak ekskavasi Petak A dan B pada ketinggian 150-155 m pada teres Bukit Suring dengan kecerunan sekitar 10 darjah (Rajah 7). Petak A dan B bersaiz $2 \times 2 \text{ m}^2$ dan $2 \times 1 \text{ m}^2$ dengan petak ekskavasi berorientasi sekitar 36 darjah dari arah utara. Petak A dan B bagi dinding timur terletak di lintasan keberintangan L1 pada jarak 52-54 m dan 61-63 m, manakala Petak A bagi dinding utara terletak di lintasan keberintangan elektrik L3 pada jarak 25-27 m. Lintasan keberintangan elektrik L1 dilakukan pada permukaan tanah yang telah diratakan untuk penanaman pokok getah manakala L2-L4 dilakukan mengikut topografi Bukit Suring.

Tinjauan permukaan pada dinding bukit yang telah diteraskan menemukan beberapa jumpaan artifak

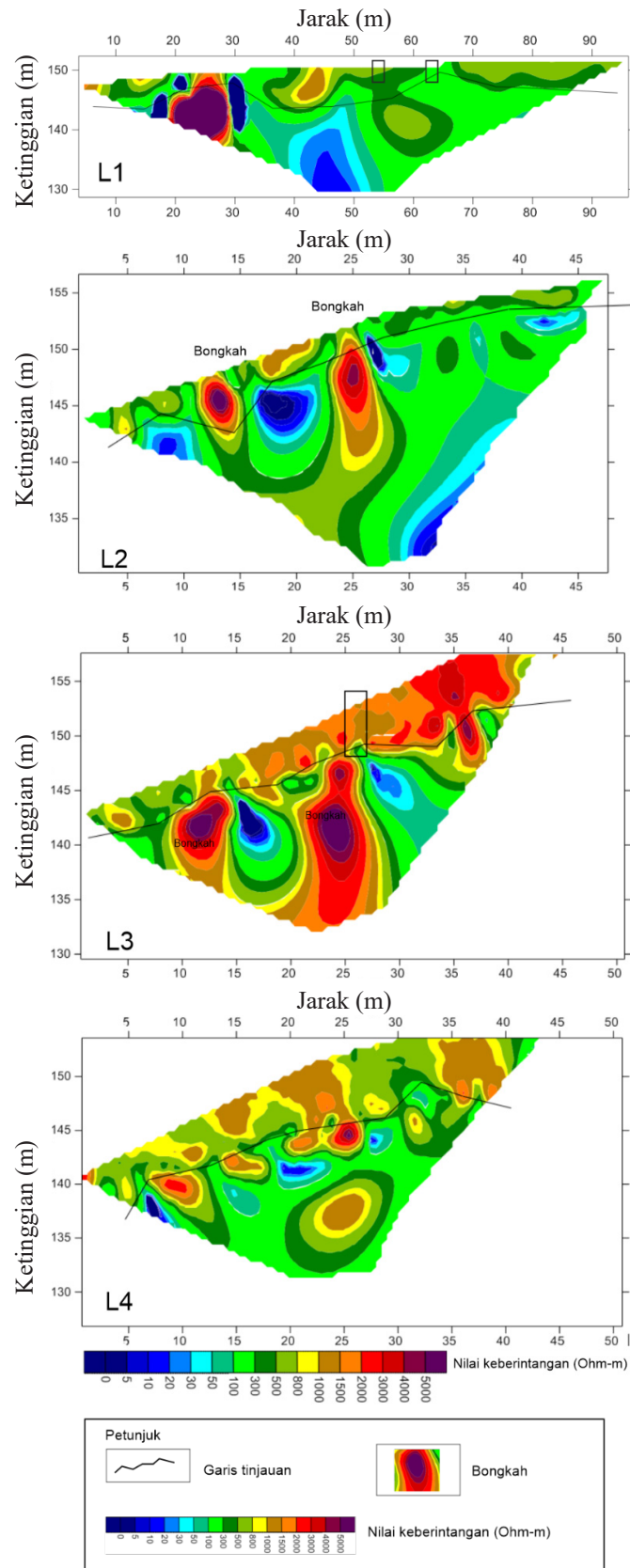
JADUAL 3. Lokasi teres Sungai Perak kuno di Lembah Lenggong (selepas Mokhtar dan Jeffrey 2007)

Ketinggian (m) teres kuno	Anggaran usia	Lokasi	Ketinggian (m) sebenar	Rujukan	Usia
>150	>500,000	Nenering	314	Mokhtar (2001)	**
		Kg Tawai	161	Mokhtar (1987)	**
120 - 150	500,000 - 250,000	Bukit Bunuh	103	Nor Khairunnisa, Mokhtar & Jeffrey (2016)	520k
		Bukit Bunuh	103	Nor Khairunnisa, Mokhtar & Jeffrey (2016)	270k
100 - 120	250,000 - 100,000	Kg Ayer Jada	110	Mokhtar (1997b)	200k*
		Bukit Jawa	102	Zuraina (1997)	200k*
		Kg Temelong	100	Mokhtar (1997a)	200k*
		Kg Sumpitan	107	Mokhtar (2001)	**
		Kg Ayer Bah	103	Mokhtar (2007)	**
		Batu Berdinding	103	Mokhtar (2001)	**
<100	100,000 - 70,000	Bukit Bunuh	103	Nor Khairunnisa, Mokhtar & Jeffrey (2016)	90k
		Kg Luat	98	Mokhtar (2001)	**
		Kg Belum Baru	96	Mokhtar (2007)	**
		Bukit Changkul	93	Mokhtar (2007)	**
		Bukit Suring	91	Mokhtar (2001)	**
		Kota Tampan	76	Zuraina (1989)	74k
	70,000 - 40,000	Bukit Bunuh	83	Mokhtar (2006b)	40k
	40,000 - 13,000	Bukit Bunuh			30k

*usia relatif, **hasil dari tinjauan permukaan, k=ribu tahun dahulu



RAJAH 5. Pandangan bahagian keberintangan elektrik 2D, L1-L4 di Bukit Suring manakala tanda merah adalah lokasi petak ekskavasi



RAJAH 6. Model penyongsangan keberintangan elektrik 2D bagi L1-L4 di mana L1 dan L3 adalah lokasi petak ekskavasi yang bertanda kotak hitam

JADUAL 4. Nilai keberintangan elektrik tanah di Bukit Suring, Lenggong, Perak

Jenis tanah	Nilai keberintangan ($\Omega.m$)
Lodak berpasir / Zon tepu	< 100
Lodak berpasir berkelikir	800-1,500
Material keras / padat	> 2,000

alat batu berasosiasi bersama batuan pebel sub-sudut dengan pelbagai jenis saiz. Daripada jumpaan ini telah mencadangkan penelitian arkeologi secara menyeluruh dengan membuat kerja ekskavasi untuk melihat jenis lapisan tanah di samping menyelidik sekiranya terdapat sebarang potensi arkeologi di tapak ini. Pemerhatian secara makro akan perubahan laluan Sungai Perak kuno terutama di kawasan Lenggong menggambarkan bahawa Bukit Suring sebagai teres Sungai Perak kuno yang tertinggi, sekitar 150 m dari aras laut. Keputusan ini disokong dengan penemuan beberapa teres Sungai Perak kuno. Landskap data ekskavasi arkeologi (Rajah 8-9) dapat memberikan gambaran lebih jelas mengenai fenomena yang berkemungkinan telah berlaku di tapak terbuka Bukit Suring berdasarkan kepada perubahan aliran sungai kuno. Manakala, kelikir sungai dapat memberikan interpretasi melalui berlakunya perubahan paras sungai dan tasik sekitar kuno.

Lapisan pertama Lapisan pertama adalah lapisan permukaan petak yang mempunyai ketebalan antara 0-10 cm. Lapisan ini berwarna coklat 10 YR 4/3 *brown* dan ia merupakan lapisan humus di mana struktur tanahnya agak longgar serta bercampuran dengan ranting kayu, akar-akar pokok dan memungkinkan ia telah terganggu.

Lapisan kedua Keadaan tanah di lapisan ini adalah bersifat lodak serta mempunyai pasir halus dibandingkan dengan lapisan pertama. Lapisan ini merupakan lapisan penutup kepada lapisan pertama yang mempunyai artifak. Lapisan ini mengandungi batuan bersaiz antara 1-5 cm. Lapisan ini kurang menemui bukti lapisan kebudayaan melainkan hanya beberapa puingan dan arang. Warna tanah di lapisan ini adalah 10YR 4/4 *dark yellowish brown*.

Lapisan ketiga Lapisan ketiga merupakan lapisan kebudayaan pertama di petak ini yang ditandai dengan kehadiran alat-alat batu berserta puingan di sekitarnya. Asosiasi artifak kebanyakannya terletak di tengah petak. Keadaan tanah di lapisan ini bersifat lodak dan berpasir kasar serta peroi. Ketebalan artifak di dalam petak ini sekitar 68 cm mula ditemui di lapisan ini. Sampel tanah OSL telah diambil di lapisan ini untuk dijalankan pentarikan di dalam makmal. Sampel tanah untuk analisis OSL perlu diambil dalam keadaan gelap, ia bersifat 'bila kali terakhir tanah terkena cahaya matahari', maka sebelum sampel diambil ia perlu diberikan perlindungan di kawasan untuk mengambil sampel dengan plastik berwarna hitam dan perlu membuang lapisan pertama sebelum memasukkan tiub untuk mengambil sampel tanah tersebut. Maka ia perlu

dibalut dan dijalankan analisis di makmal. Warna tanah di lapisan ini adalah 10YR 4/6 *dark yellowish brown*.

Lapisan keempat Lapisan keempat merupakan lapisan kebudayaan kedua dengan kehadiran artifak di petak ini serta mempunyai asosiasi di sekitarnya. Kebanyakan artifak yang dijumpai di sekitar lapisan ini adalah batu pemukul, batu teras serta alat repehan bergerigi. Warna tanah di lapisan ini adalah 7.5 YR 4/6 *strong brown*. Lapisan ini telah menemukan pebel sungai yang padat tetapi kebanyakan telah terluluhawa. Satu sampel tanah OSL telah diambil di bahagian dinding timur untuk dijalankan pentarikan secara kronometrik di makmal bagi menentukan tarikh di petak A lapisan keempat.

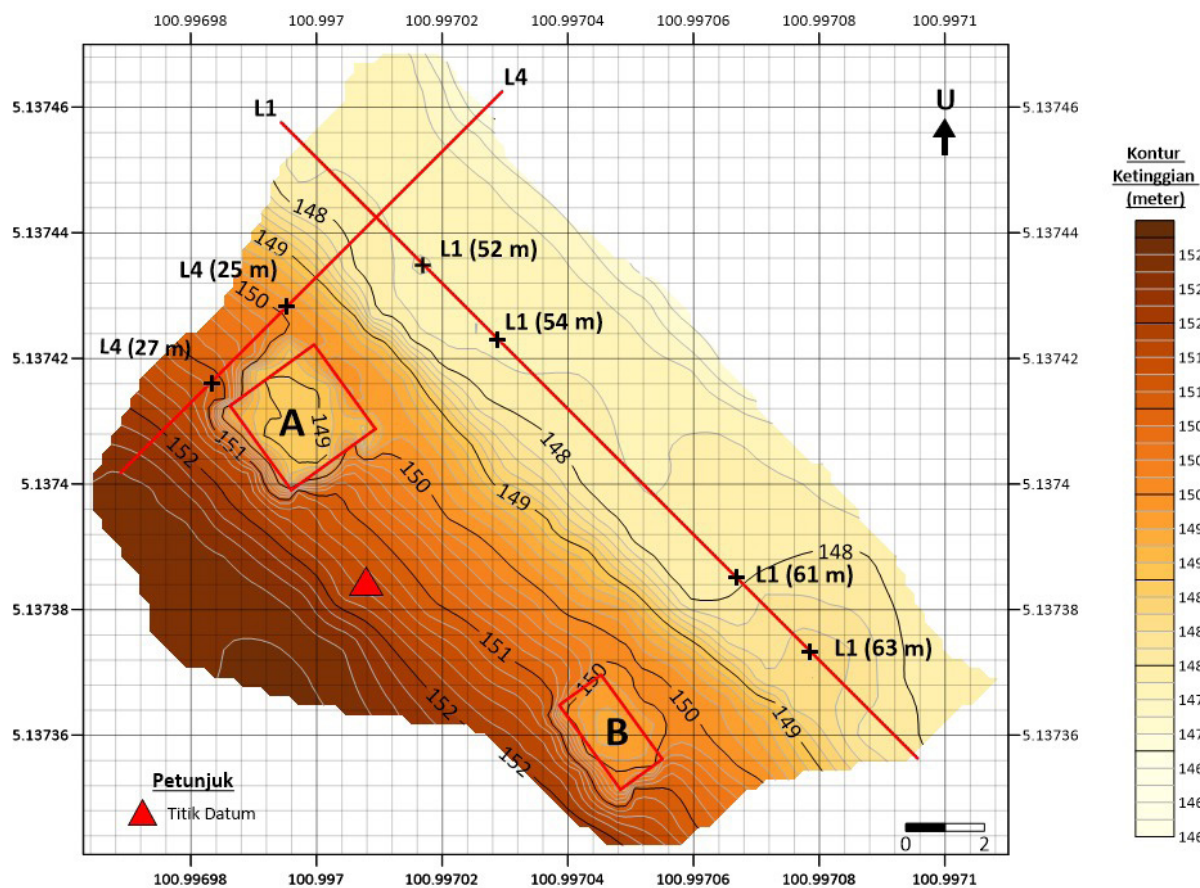
Lapisan keenam Lapisan ini merupakan dasar kepada lapisan kebudayaan. Ekskavasi di lapisan ini telah mendedahkan kepada jumpaan bongkah batu berbentuk bulat yang mempunyai saiz 60 cm. Kebanyakan jumpaan batu yang padat di lapisan ini sangat terluluhawa. Warna tanah di lapisan ini 10 YR 4/6 *dark yellowish brown*.

Lapisan ketujuh Lapisan ini merupakan lapisan laterit iaitu tanah luluhawa batuan dasar. Lapisan ini berpasir kasar dengan kehadiran kelikir dan bongkah-bongkah semula jadi bersaiz 60-80 cm terletak di atas tanah granit. Ciri kehadiran tanah laterit iaitu warna kemerahan, kekuningan dan putih kerana kandungan besi sangat tinggi. Warna tanah adalah 2.5YR 7/8 *light red* (5ph).

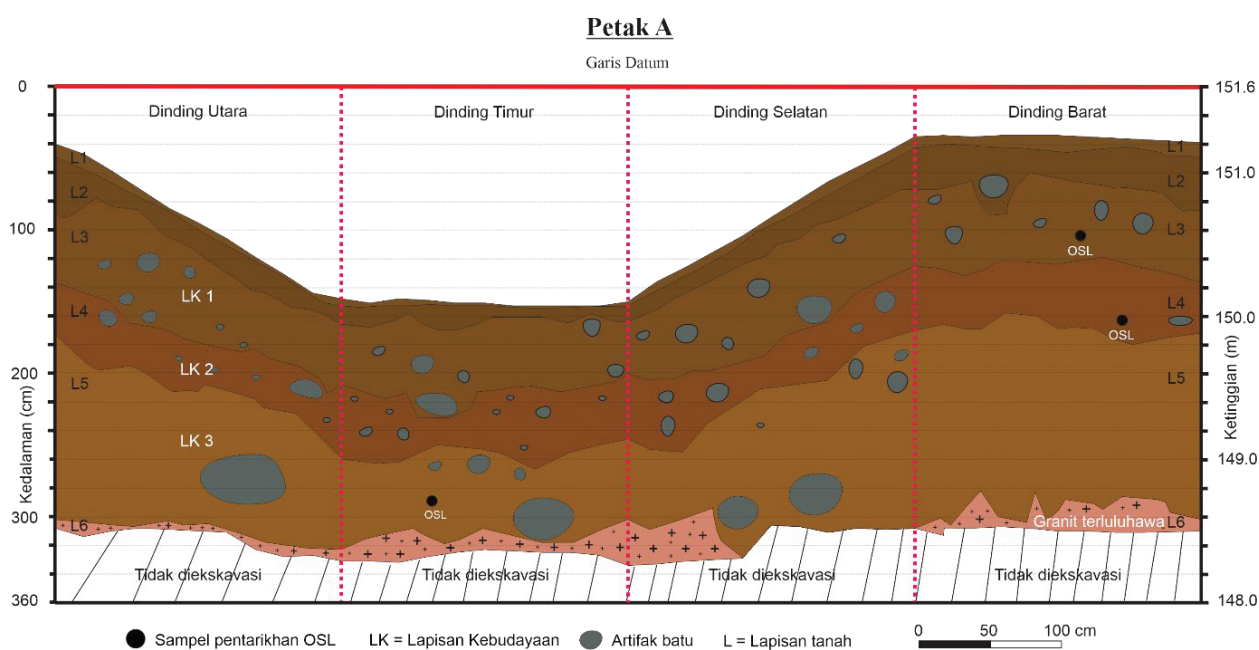
Lapisan pertama Lapisan pertama merupakan lapisan permukaan petak yang mempunyai ketebalan antara 0-10 cm. Lapisan ini berwarna 7.5YR 5/8 *strong brown* merupakan lapisan humus yang keadaan tanahnya agak longgar, berpasir serta bercampuran dengan ranting pokok, akar-akar pokok dan memungkinkan ia lapisan yang terganggu.

Lapisan kedua Di lapisan kedua tanahnya berwarna 5YR 4/6 *yellowish red*. Struktur tanah di lapisan ini berlodak dan kurang padat, di lapisan ini mempunyai gangguan akar-akar kecil. Terdapat jumpaan alat yang telah berasosiasi antara satu sama lain. Namun begitu, pada spit ke 9 terdapat jumpaan arang pokok getah secara memanjang memungkinkan lapisan ini juga lapisan terganggu oleh pembakaran pokok getah.

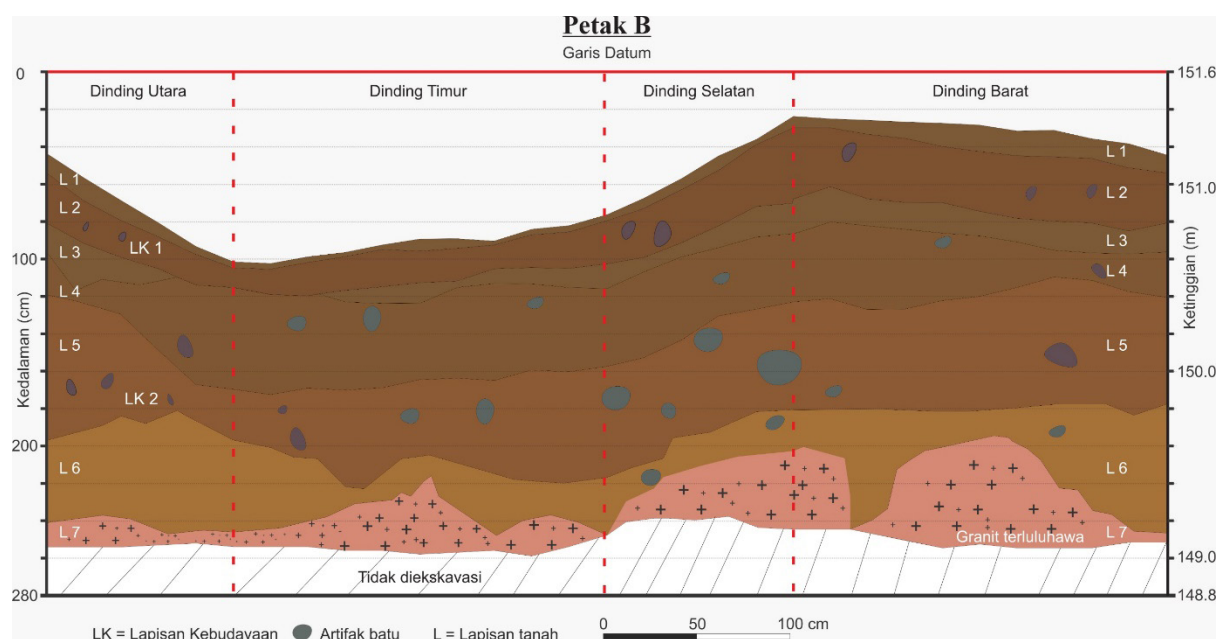
Lapisan ketiga Lapisan ketiga komposisi tanah bersifat kasar dan berwarna 10 YR 4/4 *dark yellowish brown*. Lapisan ini mempunyai ketebalan yang berbeza mengikut kepada ketinggian titik bacaan antara 20-50 cm. Terdapat kelikir yang kecil bersama dengan tanah yang kasar



RAJAH 7. Peta kontur petak ekskavasi fasa I, II dan III iaitu petak A dan petak B



RAJAH 8. Lapisan stratigrafi Petak A bahagian timur, selatan dan barat



RAJAH 9. Lapisan stratigrafi petak B di bahagian selatan, timur dan barat

di sekitarnya dan lapisan ini mudah untuk dijalankan ekskavasi kerana sifat tanahnya yang longgar. Jumpaan puingan di lapisan ini berkemungkinan ia dijadikan sebagai bengkel untuk membuat alat batu sementara.

Lapisan keempat Komposisi tanah di lapisan ini bersifat kasar dah agak padat. Di lapisan ini terdapat jumpaan batu teras serta puingan yang berselerak di setiap kuadran, berkemungkinan berlaku rayapan yang melibatkan kepada lapisan ini. Jenis warna tanah 10YR 4/6 *dark yellowish brown*.

Lapisan kelima Lapisan kelima warna tanah 7.5YR 4/4 *brown* (6ph). Keadaan tanah di lapisan ini adalah sangat padat, ia merupakan lapisan kebudayaan pertama kerana telah ditandai dengan kehadiran alat-alat batu kerana terdapat jumpaan alat repeh berserta alat penetak di lapisan. Di lapisan ini sukar untuk menjalankan ekskavasi kerana tanahnya yang bersifat keras, saiz puingan di dalam petak ini 10-15 cm. Terdapat batuan kuarza dan kuarzit yang mewakili alat di dalam petak ini. Jumpaan alat di dalam petak ini berkemungkinan ia dijadikan sebagai bengkel pembuatan batu secara singgahan sementara sahaja.

Lapisan keenam Lapisan ini merupakan dasar kepada lapisan kebudayaan. Lapisan ini berwarna 7.5 YR 3/4 *dark brown* (6ph), ia merupakan lapisan tanah liat yang bersifat padat dan keras. Di lapisan ini terdapat jumpaan sedikit puingan serta pebel kecil yang bersifat semula jadi.

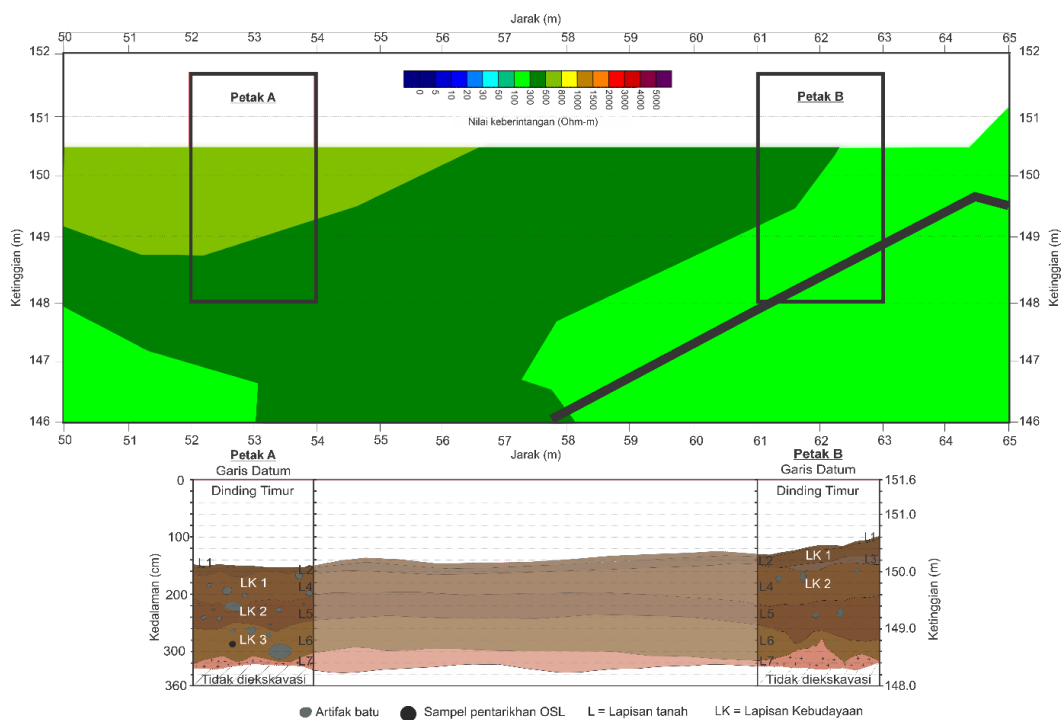
Lapisan ketujuh Lapisan ini adalah lapisan laterit iaitu tanah luluhawa batuan dasar. Lapisan ketujuh tidak menemui kehadiran artifak berkemungkinan di lapisan ini tidak menunjukkan bahawa kedatangan masyarakat kuno sekitar ini. Warna tanah bagi lapisan ini adalah 7.5 YR 6/8

reddish yellow (6ph). Lapisan ini berada pada spit 23 dan spit 24, ketebalan lapisan ini lebih kurang 20-30 cm.

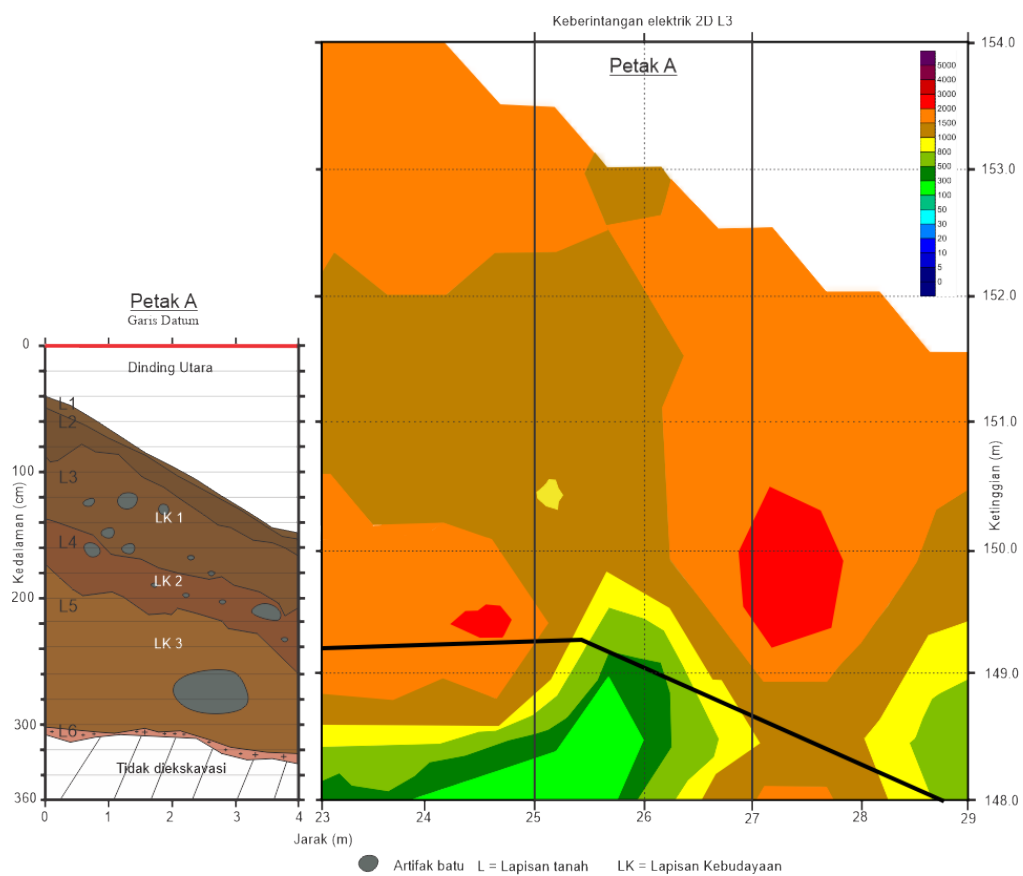
PROFIL KEBERINTANGAN PADA DINDING PETAK EKSKAVASI

Kegunaan kaedah keberintangan elektrik 2D untuk memetakan kehadiran batuan dengan ruang yang berbeza mengikut hidrogeologi bagi mengesan akuifer dan pencemaran, mencari mineral, manakala kajian arkeologi digunakan untuk mengesan batuan (Mussett & Aftab Khan 2000). Imej keberintangan elektrik 2D pada Rajah 11 menunjukkan kawasan kajian berkemungkinan mempunyai sungai kuno berdasarkan kepada tindak balas geomagnetik yang telah memberikan pentafsiran terdapat lapisan sub-permukaan batuan granit. Skala warna yang ditunjukkan julat maksimum kekonduksian elektrik. Rajah 10 akan menerangkan dua data profil keberintangan menyongsang petak A dan B.

Hasil data keberintangan elektrik 2D dan gabungan lapisan stratigrafi dapat melihat hubung-kait anomali pada garisan lintang L1 dari arah timur petak A menuju ke timur petak B. Pentafsiran di bahagian timur petak A (Rajah 8) dilakukan berdasarkan kepada lintasan garisan survei L1 bermula dengan jarak 52-54 meter (Petak A) dan 61-63 meter (Petak B). Penjelasan pemilihan petak ekskavasi dan lintasan keberintangan elektrik 2D bukan pada lokaliti yang sama tetapi adalah lokasi lintasan yang paling hampir. Lintasan keberintangan elektrik 2D memerlukan laluan mudah (teres bukit) di dalam kawasan kebun tinggal yang dipenuhi semak samun dan tebing bukit yang curam. Tetapi untuk kajian arkeologi memerlukan kawasan yang masih tidak terganggu.



RAJAH 10. Lapisan stratigrafi dan keratan rentas keberintangan elektrik L1 bagi Petak A dan B



RAJAH 11. Lapisan stratigrafi dan keratan rentas keberintangan elektrik 2D

Bahagian timur bahagian timur Petak A (Rajah 8) memberikan nilai keberintangan elektrik $<100 \Omega.m$ mencadangkan campuran tanah pasir dan lodak. Hasil kajian daripada garisan lintang telah mendapati nilai keberintangan elektrik antara 800-1,500 m dapat dikategorikan sebagai lapisan lodak berpasir dan kelikir yang memanjang hingga kedalaman sehingga 5 m kehadiran batu kelikir yang berada di pelbagai kawasan tengah. Mengandungi campuran tanah pasir dan lodak pada kecerunan yang berbeza. Perubahan lapisan sedimen yang berbeza dapat dikenal pasti melalui perubahan struktur tanah dengan kehadiran kelikir di setiap lapisan. Kehadiran lapisan kelikir sungai yang padat berpotensi memberikan gambaran kewujudan aktiviti manusia dan persekitaran dahulu. Manakala, lapisan tanah granit dapat dikenal pasti melalui bacaan yang tinggi. Ciri geologi yang didapati seperti keadaan batuan, struktur tanah, pasir sungai dan jenis material batuan (kuarza dan kuarzit).

Bahagian timur bahagian timur Petak B (Rajah 9) menunjukkan kepekatan campuran tanah pasir dan lodak $<100 \Omega.m$. Perolehan data secara mendatar dan menegak membolehkan pengenalpastian kehadiran kelikir sungai. Lapisan stratigrafi Petak B menunjukkan bahawa setiap lapisan mempunyai sedimen tanah berbeza mengikut lapisan. Lapisan kebudayaan menunjukkan kehadiran kelikir sungai yang padat yang melekat pada dinding petak ekskavasi. Nilai keberintangan elektrik yang tinggi mencapai $> 2,000 \Omega.m$ mencadangkan kehadiran bahan keras berdasarkan lapisan dasar luluhawa laterit.

Bahagian utara dinding Petak A (Rajah 8) bahagian utara dan selatan telah menunjukkan jenis tanah lodak berpasir dengan kehadiran kelikir sungai melalui nilai keberintangan elektrik 800-1,500 ($\Omega.m$). Perubahan warna tanah di setiap lapisan tanah dapat melihat perhubungan ketepuan jenis tanah dan batuan yang ada di subpermukaan tanah. Nilai keberintangan elektrik $>2,000 \Omega.m$ kerana terdapatnya lapisan dasar tanah luluhawa batuan laterit mencadangkan kehadiran bahan keras atau batu yang terluluhawa. Rajah 8 juga menunjukkan susunan panduan dalam kajian kawasan ini. Nilai anomali lodak berpasir dengan kehadiran kelikir sangat tinggi pada bahagian utara menunjukkan terdapat persamaan dengan data dua dimensi keberintangan elektrik. Perubahan kedalaman dianggarkan berada di lapisan tanah granit.

KESIMPULAN

Kajian lapangan yang melibatkan kaedah survei secara geofizik keberintangan elektrik 2D dapat membantu dalam mentafsirkan kawasan kajian yang berpotensi untuk dijalankan kajian ekskavasi. Kajian keberintangan elektrik 2D ini menggunakan pendekatan Wenner Schlumberger dengan penggunaan jarak 2.5 meter dan pemasangan kutub-dwikutub melalui jarak 1.25 meter. Imej keberintangan elektrik 2D ini dapat membantu dalam hasil pentafsiran untuk mengenal pasti kandungan dalam subpermukaan

tanah. Namun, bagi memastikan kewujudan sungai kuno, satu usaha galicari perlulah dijalankan di kawasan yang telah dipilih. Terdapat kawasan yang jelas dari segi anomalinnya dicadangkan untuk menjalankan kajian lanjutan seperti galicari untuk mendapat kepastian kemungkinan wujudnya sungai kuno ketika dahulu. Selain itu, kehadiran saiz butiran ini telah diambil kira kerana ia dapat menggambarkan bahawa wujudnya masyarakat prasejarah secara berperingkat bagi memahami aktiviti manusia prasejarah dalam konteks lapisan budaya. Kehadiran kelikir bersaiz sederhana hingga besar yang ditemui bersama artifak batu menunjukkan ia berkemungkinan digunakan sebagai kawasan bengkel pembuatan alat batu. Saiz butiran ini dapat dikaitkan dengan aktiviti pemecahan batuan secara berkala berdasarkan jenis batuan yang digunakan. Pemerhatian yang dapat dilihat terhadap perbezaan saiz butiran seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 7 dan 8 dengan lapisan yang mempunyai kelikir lebih banyak dan bersaiz besar menunjukkan fasa tersebut digunakan secara aktif oleh masyarakat prasejarah. Analisis stratigrafi berdasarkan saiz butiran ini dapat membolehkan perbezaan lapisan kebudayaan dan lapisan geologi semula jadi bagi mengenal pasti peringkat kehadiran masyarakat prasejarah.

PENGHARGAAN

Kajian ini dijalankan di bawah peruntukan geran FRGS iaitu 'Membina Kebudayaan Masyarakat Paleolitik di Tapak Bukit Suring, Lenggong, Perak melalui pendekatan Geoarkeologi' no. akuan : 203.PARKEO. 6712145. Terima kasih diucapkan kepada Mohd Azmirizal bin Mohd Nazri tuan empunya tanah yang telah memberikan kebenaran menjalankan kajian arkeologi (tinjauan, pemetaan dan ekskavasi) di atas tanah tersebut.

RUJUKAN

- Barker, R.D. 1999. Surface and borehole geophysics. Dlm. *Water Resources of Hard Rock Aquifers in Arid and Semi-Arid Zone*, disunting oleh Lloyd, J.W. Studies and Report in Hydrology 58, UNESCO, Paris.
- Campana, S. & Piro, S. 2008. *Seeing the Unseen. Geophysics and Landscape Archaeology*. 1st ed. London: CRC Press.
- Edwards, L.S. 1977. A modified pseudosection for resistivity and induced-polarization. *Geophysics* 42(5): 1020-1036.
- El-Qady, G. & Metwaly, M. 2019. *Archaeogeophysics: State of the Art and Case Studies*. 1st ed. Springer.
- Griffiths, D.H. & Barker, R.D. 1993. Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology. *Journal of Applied Geophysics* 29: 211-226.
- Hachay, O. & Khachay, O. 2019. Method of non destructive geophysical mapping of the environment. *Open Journal of Geology* 9: 327-341. <https://doi.org/10.4236/ojg.2019.97022>

- Imai, T.S., Sakayama, T. & Kanemori, T. 1987. Use of ground-probing radar and resistivity surveys for archaeological investigations. *Geophysics* 52(2): 137-150.
- Jones, C.R. 1970. Geology and mineral resources of the Grik area, Upper Perak. *Geological Survey West Malaysia District Memoir* 11. pp. 1-165.
- Kearey, P., Brooks, M. & Hill, I. 2013. *An Introduction to Geophysical Exploration*. Oxfordshire, Oxford: Blackwell Science.
- Keller, G.V. & Frischknecht, F.C. 1966. *Electrical Methods in Geophysical Prospecting*. Oxford: Pergamon Press Inc.
- Loke, M.H. 2004. *Tutorial: 2-D and 3-D Electrical Imaging Surveys*. Geotomo Software.
- Loke, M.H. 1999. *Electrical Imaging Surveys for Environmental and Engineering Studies: A Practical Guide to 2-D and 3-D Surveys*.
- Milsom, J. & Eriksen, A. 2011. *Field Geophysics*. 4th ed. Wiley: Wiley-Blackwell.
- Mokhtar Saidin. 2007. Palaeolithic adaptation: Some criteria for site selection among the Pleistocene population in Malaysia. *Archaeological Heritage of Malaysia* 1: 1-16.
- Mokhtar Saidin. 2006a. Kebudayaan Paleolitik Malaysia. *PURBA* 25: 38-53.
- Mokhtar Saidin. 2006b. Bukit Bunuh, Lenggong, Perak: Sumbangannya kepada arkeologi dan geologi negara. *Jurnal Arkeologi Malaysia* 19: 1-14.
- Mokhtar Saidin. 2001. Bukti Paliseolitik di Hulu Perak-2001. Laporan Penyelidikan Geran Jangka Pendek. Universiti Sains Malaysia (tidak diterbitkan).
- Mokhtar Saidin. 1997a. Kajian perbandingan tapak Paleolitik Kampung Temelong dengan Kota Tampan dan sumbangannya terhadap kebudayaan Pleistosen Akhir di Asia Tenggara. *Malaysia Museums Journal* 32.
- Mokhtar Saidin. 1997b. Kebudayaan Paleolitik di Malaysia: Sumbangan tapak Lawin, Perak dan Tingkayu, Sabah. Tesis PhD. Universiti Sains Malaysia (tidak diterbitkan).
- Mokhtar Saidin. 1987. Geologi kawasan Grik, Perak. Tesis BSc. (Hons). Universiti Kebangsaan Malaysia (tidak diterbitkan).
- Mokhtar Saidin & Jeffrey Abdullah. 2007. Sungai Perak Kuno: Sumbangannya kepada Zaman Paleolitik Malaysia. *Jurnal Arkeologi Malaysia* 20: 14-21.
- Mussett, A.E. & Aftab Khan, M. 2000. Resistivity methods. *Looking into the Earth: An Introduction to Geological Geophysics*. Cambridge: Cambridge University Press. pp. 181-201. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511810305.013>
- Naizatul Akma Mohd Mokhtar & Mokhtar Saidin. 2024. Perkembangan, cabaran dan sumbangan arkeologi awam di Malaysia. *Applied History Journal of Merong Mahawangsa* 2: 13-21.
- Nor Khairunnisa Binti Talib. 2020. Kajian paleoalam Lembah Lenggong semasa zaman Pleistosen berdasarkan perspektif palinologi dan geomorfologi. Ijazah Doktor Falsafah. Penang: Universiti Sains Malaysia (tidak diterbitkan).
- Nor Khairunnisa Talib, Mokhtar Saidin & Jeffrey Abdullah. 2016. Batuan impak meteorit: Bukti penggunaan bahan mentah bagi masyarakat Paleolitik Pleistosen Pertengahan. *Jurnal Arkeologi Malaysia* 29(1): 43-54.
- Nowroozi, A.A., Whittecar, G.R. & Daniel, J.C. 1997. Estimating the yield of crushable stone in an alluvial fan deposit by electrical resistivity methods near Stuarts Draft, Virginia. *Journal of Applied Geophysics* 38(1): 25-40. [https://doi.org/10.1016/S0926-9851\(97\)00014-1](https://doi.org/10.1016/S0926-9851(97)00014-1)
- Olenchenko, V.V., Tsbizov, L.V., Osipova, P.S., Charginov, T.T., Viola, B.T., Kolobova, K.A. & Krivoschapkin, A.I. 2020. Peculiarities of using 2D electrical resistivity tomography in caves. *Archaeology, Ethnology & Anthropology of Eurasia* 48(4): 67-74. <https://doi.org/10.17746/1563-0110.2020.48.4.067-074>
- Shaaban, F.F. & Shaaban, F.A. 2001. Use of two-dimensional electric resistivity and ground penetrating radar for archaeological prospecting at the ancient capital of Egypt. *Journal of African Earth Sciences* 33(3-4): 661-671. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0899-5362\(01\)00091-4](https://doi.org/10.1016/s0899-5362(01)00091-4)
- Tsokas, G.N., Tsourlos, P.I. & Papadopoulos, N. 2008. Electrical resistivity tomography: A flexible technique in solving problems of archaeological research. *Seeing the Unseen. Geophysics and Landscape Archaeology*. Boca Raton: CRC Press. pp. 109-130.
- Witten, A.J. 2017. *Handbook of Geophysics and Archaeology*. New York: Routledge.
- Zuraina Majid. 1997. The discovery of Bukit Jawa, Gelok, a Middle-Late Palaeolithic site in Perak. *Journal of the Malaysian Branch of the Royal Asiatic Society* 27: 49-52.
- Zuraina Majid. 1989. Tampanian problem resolved: Archaeological evidence of a Late Pleistocene workshop. *Modern Quarternary Research in Southeast Asia* 11: 71-96.
- Zuraina Majid & Tjia, H.D. 1988. Kota Tampan, Perak: The geological and archaeological evidence for a Late Pleistocene site. *Journal of the Malayan Branch Royal Asiatic Society* 61(2): 123-134.

*Pengarang untuk surat-menyurat; email: norkhairunnisa@usm.my