

*Kajian Literatur*

**Faktor Kesukaran dalam Proses Memodelkan Sebuah Tapak Arkeologi Menerusi Pendekatan Geospasial**

*(Difficulty Factor in Modeling an Archaeological Site through a Geospatial Approach)*

Azizul Ahmad<sup>1</sup>, Mohd Zulhafiz Said<sup>2\*</sup>, Tarmiji Masron<sup>1</sup>, Nur Afiqah Ariffin<sup>3</sup>, Yaniza Shaira Zakaria<sup>4</sup>, Ardiansyah<sup>5</sup>, Lindah Roziani Jamru<sup>6</sup>, Nor Khairunnisa Talib<sup>7</sup>, Nur Rafidah Asyikin Idris<sup>8</sup>, Norliza Abd. Rahman<sup>3</sup>, Luqman Haqim Bismelah<sup>1</sup>, Asykal Syakinah Mohd Ali<sup>1</sup>, Bryan Anderson Wis<sup>9</sup> & Norizan Musa<sup>10</sup>

<sup>1</sup>Centre for Spatially Integrated Digital Humanities (CSIDH), Fakulti Sains Sosial & Kemanusiaan (FSSK), Universiti Malaysia Sarawak (UNIMAS), 94300 Kota Samarahan, Sarawak, Malaysia

<sup>2</sup>Jabatan Sains Kemasyarakatan dan Pembangunan, Fakulti Ekologi Manusia, Universiti Putra Malaysia (UPM), 43400 UPM Serdang, Selangor, Malaysia

<sup>3</sup>Bahagian Geografi, Pusat Pengajian Ilmu Kemanusiaan (PPIK), Universiti Sains Malaysia (USM), 11800 USM, Pulau Pinang, Malaysia

<sup>4</sup>Institut Oseanografi dan Sekitaran (INOS), Universiti Malaysia Terengganu (UMT), 21030 Kuala Nerus, Terengganu, Malaysia

<sup>5</sup>Fakulti Kejuruteraan, Universitas Syiah Kuala, 23111 Banda Aceh, Indonesia

<sup>6</sup>Fakulti Sains Sosial dan Kemanusiaan, Universiti Malaysia Sabah (UMS), 88400 Kota Kinabalu, Sabah, Malaysia

<sup>7</sup>Pusat Penyelidikan Arkeologi Global (PPAG), Universiti Sains Malaysia (USM), 11800 USM, Pulau Pinang, Malaysia

<sup>8</sup>Commonwealth Tertiary Education Facility (CTEF), Institut Penyelidikan Pendidikan Tinggi Negara (IPPTN), Universiti Sains Malaysia (USM), 11800 USM, Pulau Pinang, Malaysia

<sup>9</sup>Institute of Borneo Studies (IBS), Universiti Malaysia Sarawak (UNIMAS), 94300 Kota Samarahan, Sarawak, Malaysia

<sup>10</sup>Fakulti Hospitaliti, Pelancongan dan Kesejahteraan (FHPK), Universiti Malaysia Kelantan (UMK), City Campus, 16100 Kota Bharu, Kelantan, Malaysia

\*Pengarang Koresponden: [mohdzulhafiz@upm.edu.my](mailto:mohdzulhafiz@upm.edu.my); [mzulhafizsaid@gmail.com](mailto:mzulhafizsaid@gmail.com)

Diserah: 01 Januari 2024

Diterima: 01 Februari 2024

**Abstrak:** Selama bertahun-tahun, ahli arkeologi telah bergantung pada peta dan analisis ruangan untuk memahami taburan artifak dan ciri di seluruh tapak arkeologi secara visualisasi. Walau bagaimanapun, pengenalan foto udara, penderiaan jauh digital, sistem maklumat geografi (GIS) dan sistem keletakan global (GPS) telah menyediakan ahli arkeologi dengan alat canggih untuk menganalisis dan menggambarkan taburan dan data arkeologi dengan cara yang inovatif. Oleh yang demikian, analisis geospasial telah mendapat pengiktirafan yang penting sebagai salah satu alat untuk membantu ahli arkeologi. Dengan menyepadukan foto udara, penderiaan jauh, GIS dan GPS ke dalam penyelidikan mereka, ahli arkeologi kini dapat menganalisis kuantiti data yang besar dalam masa yang sama memahami peranan ruangan. Ini telah membolehkan mereka memperoleh pandangan baru tentang taburan dan corak ciri arkeologi tersebut. Artikel ini bertujuan untuk mengkaji faktor kesukaran dalam proses memodelkan sebuah tapak arkeologi menerusi pendekatan geospasial. Antara faktor kepelbagaian yang menimbulkan kesukaran dalam proses memodelkan tapak arkeologi adalah tapak arkeologi, persekitaran, tingkah laku atau kelakuan dan faktor teknikal. Dengan kemajuan teknologi, pendekatan geospasial merupakan kaedah terbaik untuk penyelidikan arkeologi manakala

ahli arkeologi perlu berhati-hati dan menimbang faedah dan cabaran yang berkaitan dengan analisis geospasial, memastikan kaedah ini digunakan secara berhemah dan beretika.

**Kata kunci:** Arkeologi; foto udara; penderiaan jauh digital; Sistem Maklumat Geografi (GIS); Sistem Keletakan Global (GPS)

**Abstract:** Over the years, archaeologists have relied on maps and spatial analysis to visually understand the distribution of artifacts and features across archaeological sites. However, introducing aerial photography, digital remote sensing, geographic information systems (GIS), and global positioning systems (GPS) has provided archaeologists with sophisticated tools to analyze and depict archaeological distribution and data innovatively. Consequently, geospatial analysis has gained significant recognition as a tool to assist archaeologists. By integrating aerial photos, remote sensing, GIS, and GPS into their research, archaeologists can now analyze large quantities of data while understanding the spatial aspects simultaneously. This has enabled them to gain new insights into the distribution and patterns of archaeological features. This article examines the difficulty factors in modeling an archaeological site through geospatial approaches. Among the diverse factors that pose challenges in modeling archaeological sites are the archaeological site itself, the environment, behavior or conduct, and technical factors. With technological advancements, geospatial approaches represent the best method for archaeological investigations. At the same time, archaeologists must be cautious and weigh the benefits and challenges of geospatial analysis, ensuring that this method is used judiciously and ethically.

**Keywords:** Archaeology; aerial photography; digital remote sensing; Geographic Information Systems (GIS), and Global Positioning Systems (GPS)

---

## Pengenalan

Teknologi maklumat geografi merujuk kepada sebarang teknologi yang berkaitan dengan pengiraan, menyimpan dan memanipulasi informasi ruangan seperti Penderiaan Jauh Digital, Sistem Keletakan Global (GPS), Foto Udara dan Sistem Maklumat Geografi (GIS). Teknologi maklumat geografi ini memainkan peranan yang penting dalam pelbagai disiplin ilmu (Wilbanks, 2004). Menurut Foresman (1998), lebih 80 hingga 90 peratus data yang dikumpul mempunyai komponen geografi (ruangan). Terdapat juga istilah lain bagi teknologi maklumat geografi terutamanya untuk mengkaji permukaan bumi dan sekitarnya, seperti geoinformatik, geomatik atau informasi geo-ruangan. Informasi geo-ruangan topografi komprehensifnya dalam bentuk yang lebih moden. Ia melibatkan pengukuran dengan peralatan elektronik, aplikasi teknik canggih untuk analisis data dan pampasan rangkaian, teknik keletakan satelit global, pengimbasan laser analisis fotogrametri dan digital, satelit dan penderiaan jauh bawaan udara, dan sebagainya. Seperti ahli geografi, arkeologis juga mengkaji tempat dan mereka menitikberatkan interpertasi lokasi yang telah mengalami perubahan. Mereka juga menggunakan kaedah dan peralatan untuk merekod dan analisis data ruangan. Arkeologis akan mengumpul data di lapangan dan memetakan jumpaan yang ditemui dalam pelbagai skala dari meter persegi dalam lingkungan lubang tapak arkeologi sehingga kawasan yang meliputi separuh benua. Semasa dekad lepas, mereka telah menggunakan teknologi maklumat geografi seperti GIS dan GPS untuk memetakan tapak arkeologi dengan ketepatan baru dan meramalkan di mana tapak-tapak yang belum ditemui yang menarik kajian arkeologi tersebut (Harris, 2002).

Salah satu kesukaran untuk menggunakan sesuatu teknologi maklumat geografi dalam kajian arkeologi ialah kekurangan bahan rujukan yang berhubung terus kepada disiplin arkeologi. Untuk menghubungkan sistem maklumat geografi (GIS), penderiaan jauh, foto udara dan GPS dengan arkeologi, sebilangan kajiannya telah bermula semenjak tahun 1990-an sehingga sekarang. Menurut Tennant (2007), terdapat sebilangan kajian telah dilakukan dalam bidang GIS dalam arkeologi contohnya Allen et al., (1990); Lock & Stančić, (1995); Aldenderfer & Maschner, (1996); Lock, (2000); Wescott & Brandon, (2000); Wheatly & Gillings, (2002); Conolly & Lake, (2006). Akan tetapi, pada abad ke-21 kajian yang dilakukan semakin bertambah seperti Knowles, (2002); McPherron & Dibble, (2002); Lock, (2003); Evans & Daly, (2006); Johnson, (2006);

Lock & Molyneaux, (2006); Mehrer & Wescott, (2006); Robertson et al., (2006); Gregory & Ell, (2007); Wiseman & El-Baz, (2007); Verhagen, (2007); Reid, (2008); Parcak, (2009) yang telah menggunakan teknologi maklumat geografi di dalam kajian arkeologi mereka. Arkeologis telah lama menyedari kepentingan komponen teknologi maklumat ruangan di dalam merekod data arkeologi. Ia telah bermula seawal abad ke-18 lagi dan terdapat ekskavasi yang formal yang telah dilakukan untuk mendapatkan bukti penemuan baru yang ingin ditemui. Selain itu, terdapat juga teknologi lain yang digunakan dalam arkeologi yang juga dikenali sebagai geoinformatik iaitu kartografi, fotogrametri dan survei geofizikal (Reid, 2008) yang tidak diuraikan di dalam kajian ini (Tennant, 2005). Artikel ini bertujuan untuk mengkaji faktor kesukaran dalam proses memodelkan sebuah tapak arkeologi menerusi pendekatan geospasial. Antara faktor kepelbagaian yang menimbulkan kesukaran dalam proses memodelkan tapak arkeologi adalah tapak arkeologi, persekitaran, tingkah laku atau kelakuan dan faktor teknikal.

### **Metodologi**

Kaedah kajian yang digunakan adalah melibatkan penelitian dan penelitian semula kajian terdahulu yang berkaitan dengan penyelidikan arkeologi dan geospasial. Kaedah ini melibatkan identifikasi topik dan skop kajian agar lebih berfokus; carian maklumat menggunakan pangkalan data akademik, kajian kepustakaan, laporan, jurnal digital dan sumber sekunder lain yang berkaitan; membuat penilaian terhadap kajian-kajian yang berkaitan arkeologi dan geospasial secara kritis terhadap kaedah kajian yang digunakan dan dapatan yang telah diperoleh; dan seterusnya Menyusun maklumat yang telah disorot mengikut tema kajian yang di jalankan. Melalui kedah kajian ini, penyelidik dapat mengenalpasti faktor kesukaran dalam proses memodelkan tapak arkeologi berdasarkan pendekatan geospasial.

### **Analisis Kajian Lepas**

#### **1. Foto Udara dalam Kajian Arkeologi**

Penderiaan jauh ialah kajian satu objek atau satu fenomena daripada satu jarak dan kaedah ini telah digunakan sejak satu abad yang lepas. Ahli arkeologi mula menggunakan kaedah foto udara bagi mendapatkan pemahaman tentang persekitaran serantau tapak purba dan mengesan tinggalan sebenar pada tapak tersebut (Wiseman & El-Baz, 2007). Permulaan penggunaan foto udara konvensional dalam kajian arkeologi adalah pada awal abad ke-20 yang berpusat di Britain (Giardino & Haley, 2006). Pada tahun 1906, foto udara untuk kajian arkeologi adalah gambar Stonehenge yang diambil menggunakan belon udara (Giardino & Haley, 2006) yang diambil oleh ahli arkeologi UK pertama iaitu O.G.S. Crawford (Wheatley & Gillings, 2002). Crawford telah mengenalpasti ciri sub permukaan arkeologi boleh dikesan menggunakan foto udara dan telah menghasilkan sebuah siri foto udara yang luas untuk tapak arkeologi tersebut. Menurut Cochrane (2016) dan Giardino & Haley, (2006), Charles dan Anne Lindbergh mengambil foto udara untuk sejumlah tapak Maya termasuk Tikal, Tulum, dan Chichén Itzá menggunakan pesawat udara. Selepas itu, sejumlah tapak yang belum diketahui dalam Yucatan Timur telah dikenalpasti menggunakan gambar Charles Lindberg. Melalui foto udara juga membolehkan kawasan besar ditinjau dan dipetakan dengan cepat (Giardino & Haley, 2006). Foto udara boleh dipisahkan dan didigitkan dalam sistem yang mempunyai persamaan dengan peta (Jackson, 1990). Pemprosesan komputer boleh diintegrasikan dengan interpretasi foto udara yang menunjukkan data baru yang penting yang tidak dapat diperolehi dengan teknik tradisional. Berdasarkan rekonstruksi Model Permukaan Berdigit (Digital Terrain Model-DTM), pemetaan tekstur dan pemprosesan imej digital akan membantu menyelesaikan masalah yang timbul di dalam interpretasi foto udara. Walau bagaimanapun, secara tipikal foto udara memerlukan banyak proses untuk dimasukkan ke dalam GIS (McPherron & Dibble, 2002).

#### **2. Penderiaan Jauh Digital dalam Kajian Arkeologi**

Kajian penggunaan penderiaan jauh dari angkasa lepas dalam bidang arkeologi di seluruh dunia telah bermula sejak 50 tahun dahulu (Wheatley & Gillings, 2002; Parcak, 2009). Terdapat banyak imej satelit yang digunakan oleh ahli arkeologi. Kini, jenis imej dan sistem imej ini boleh dilihat secara atas talian melalui capaian Google Earth™, NASA's World Wind, Corona High Resolution Space Photography, KH-7 dan imej KH-9, Landsat, SPOT, ASTER, SRTM, IKONOS, Quickbird, SIR-A, SIR-B, SIR-C dan X-SAR, serta sistem

pengimejan diterbangkan pada pesawat LIDAR dan SAR. Kaedah ini adalah kos efektif, mempunyai pelbagai jenis imej yang boleh didapati; dan boleh didapati secara membelinya atau percuma (Parcak, 2009). Penderiaan jauh melalui satelit boleh menyediakan data persekitaran yang meliputi kawasan besar sebenar daratan dalam satu kaedah yang sangat menjimatkan kos. Sebagai contoh, lebih daripada 63 projek arkeologi telah menggunakan Landsat dan data digital untuk kajian tanah prasejarah dalam kepelbagaian perbezaan persekitaran seluruh dunia termasuklah di Mesoamerika di Amerika Syarikat dan Eropah (Limp et al., 1987). Penderiaan Jauh Digital juga boleh menggunakan sistem SPOT iaitu pertamanya adalah penggunaan simulator SPOT, sebuah pengimbas bawaan udara (*airbourne scanner*) yang akan menstimulasikan satelit sistem resolusi ruang dan spectral (Madry & Crumley, 1990). Kedua ialah penggunaan pertama data satelit SPOT yang sebenar dalam arkeologi telah dilakukan di sebahagian besar daripada Lembah Sungai Arkansas di Arkansas (Farley et al., (1988) dipetik daripada Madry & Crumley, (1990)). Di dalam kajian tersebut, data SPOT telah diklasifikasikan dan digeo-rujukan menggunakan perisian ELAS dan kemudian dimasukkan ke dalam sistem GIS GRASS.

### 3. Sistem Keletakan Global Dalam Kajian Arkeologi

Sistem Keletakan Global (GPS) merupakan teknologi yang berkembang pesat yang menawarkan arkeologis cara untuk mendapatkan maklumat kedudukan tepat dengan cepat dan murah (Kvamme, 1995). Ia boleh digunakan sama ada seperti alat penentuan kedudukan atau alat untuk tinjauan kerja lapangan (British Archaeological Jobs Resource, 2004). Maklumat ruang (*spatial*) juga boleh dimuat turun kepada GIS yang menjadikan ianya alat yang sangat baik untuk menangkap data ruang. Sebagai contoh, GPS digunakan untuk memetakan artifak di atas tanah, dihubungkan dengan komputer lapangan dan terus menghasilkan peta dengan maklumat ekskavasi yang lebih terkini (Kvamme, 1995). Selain itu, GPS juga boleh mengenal pasti kawasan permukaan kajian tapak arkeologi pada permukaan skrin (Parcak, 2009). Menurut *British Archaeological Jobs Resource* (2004), GPS membuktikan menjadi satu alat terbaik untuk peninjauan atau survei dalam arkeologi. Dalam kerja lapangan arkeologi, GPS mungkin baik digunakan untuk pemetaan mencari kedudukan, kerja lapangan dan ciri-ciri arkeologi lain tanpa memerlukan teknik konvensional. Ahli arkeologi setuju dengan tahap ketepatan yang diperolehi dari GPS yang berada di tangan atau *hand-held GPS* untuk kerja luar arkeologi. Ia menjadi satu keperluan dan tidak mahal bagi butir peralatan untuk bidang tinjauan dan survei yang dilakukan dengan berjalan kaki terutama sekali di kawasan terpencil.

### 4. Sistem Maklumat Geografi Dalam Kajian Arkeologi

Sistem Maklumat Geografi atau GIS adalah sistem pengurusan pangkalan data yang canggih (*sophisticated*) dan mempunyai koleksi perkakasan komputer, perisian dan data geografi yang direkabentuk untuk menangkap, memvisualisasikan, mengurus, menyimpan, mengemaskini, memanipulasi, menganalisis dan memaparkan semua bentuk maklumat berujukan geografi (Knowles, 2002). Ia penting di dalam kajian arkeologi sejak berdekad dahulu. Menurut Wescott (2000), GIS menawarkan kepada ahli arkeologi satu alat penyelidikan yang menarik dan berkuasa serta memberikan satu kesan yang mendalam pada bidang arkeologi seperti berlaku kepada pengenalan pentarikhan radio karbon 14 dalam tahun 1950-an. GIS dan analisis ruang sesuai digunakan dalam menerangkan corak petempatan penduduk zaman purba dengan memahami penggunaan ruang, persekitaran dan sumber bagi sesuatu tapak (Samat et al., 2010). GIS menggabungkan elemen ruang seperti topografi, hidrologi dan lokasi tapak dalam memeta dan menerangkan perkaitan ruang antara tapak dan persekitaran. Contohnya, GIS telah digunakan dalam memeta lokasi petempatan penduduk di tapak arkeologi Sannai-Maruyama, Jepun (Okabe, 2006).

Menurut Church et al., (2000), terdapat tiga aplikasi tipikal yang selalu digunakan GIS dalam arkeologi untuk menganalisis atau yang lebih tepatnya dikenali sebagai visualisasi data (pemetaan mudah), pengurusan dan pembangunan model-model "jangkaan tapak". Model jangkaan tapak arkeologi selalu menjadi isu yang sangat penting penggunaan kajian GIS dalam arkeologi (Verhagen, 2007). Sebuah model jangkaan ditakrifkan sebagai "hipotesis atau rangkaian (set-set) hipotesis memudahkan pemerhatian-pemerhatian yang kompleks dan menawarkan satu penstrukturan rangka kerja jangkaan yang sebahagian besar adalah tepat untuk pemerhatian-pemerhatian ini" (Church et al., 2000). Aplikasi yang paling canggih daripada teknologi GIS dalam arkeologi setakat ini ialah menggunakan simulasi komputer untuk memvisualisasikan tapak dalam tiga

dan empat dimensi dan memberikan kebolehan kepada penyelidik untuk mengupas kembali lapisan waktu pada masa lampau di makmal dengan sedikit ekskavasi yang perlu dilakukan di lapangan. Ini adalah kerana masa dan ruang berhubung secara rumit dengan rekod arkeologi. Lokasi, orientasi dan kedalaman sesuatu objek dan tapak menyediakan bukti penting signifikansi budaya mereka dan di mana ia dibuat dan digunakan (Harris, 2002). Kajian ini ialah seperti menghasilkan rekonstruksi tapak melalui realiti maya atau “*Virtual reality*”. Ia mengandungi “*time series*” atau siri masa menceritakan bagaimana satu-satu tapak arkeologi itu wujud dan berkembang dengan pesat atau musnahnya satu-satu tamadun akibat bencana alam pada zaman dahulu yang tidak boleh diolah dengan kata-kata tetapi boleh digambarkan melalui animasi yang dihasilkan supaya lebih mudah difahami oleh arkeologis dan ahli geografi. Terdapat juga arkeologi baru yang dikenali sebagai arkeologi ruangan yang ditingkatkan oleh GIS atau arkeologi ruang berdasarkan-GIS (*GIS-based*) yang dapat mengatasi had-had tradisional. Arkeologi ruangan baru akan berintegrasikan dengan jenis maklumat yang banyak seperti geomorfologi, sains perilaku, sinekologi dan geologi (Tsumura, 2006).

### Perbincangan

Sejak 20 tahun yang lalu, teknologi sistem maklumat geografi (GIS) menjadi bertambah popular dalam konteks penyelidikan arkeologi. Penggunaan meluas bagi GIS dalam arkeologi telah menjadi satu produk yang semakin bertambah disamping ketersediaan program perisian geospasial dan kemajuan dalam teknologi komputer (Wheatley & Gillings, 2002). GIS dalam arkeologi mempunyai banyak aplikasi yang telah digunapakai berdasarkan pendekatan metodologi oleh kebolehan perisian dan diaplikasikan untuk mempersembahkan fungsi spesifik kepada menyatakan persoalan yang spesifik (Torres, 2006).

Pada akhir 1960-an, analisis penyelesaian (petempatan) menjadi satu kunci komponen utama penyelidikan arkeologi dalam isu-isu kajian yang lebih luas dengan penyesuaian manusia akibat kebolehubahan persekitaran dalam landskap. Semasa waktu tersebut, budaya material telah dilihat sebagai satu produk proses-proses kelakuan masa lampau mengakibatkan manifestasi ruangan yang dapat dilihat di dalam rekod arkeologi. Pendekatan-pendekatan ini menandakan pembangunan “Arkeologi Baru” yang dipromosi penekanan sedang suatu penjelasan saintifik zaman kuno (masa lalu) yang tertumpu pada kaedah-kaedah kuantitatif dan khususnya taakulan hypothetico-deduktif (Torres, 2006). Hasilnya penyelidik “Arkeologi Baru” mula meneroka disiplin lain (contohnya geografi, ekonomi) untuk kaedah dan idea mengenai analisis ruangan. Daripada idea dan kaedah disediakan oleh bidang lain penyelidikan seperti geografi budaya, bersempena pembangunannya di dalam antropologi ekologi, pemikiran ruangan mencergaskan semula dalam pemikiran antropologi dan arkeologi (Torres, 2006).

GIS menyediakan cara untuk menghasilkan dan menafsirkan landskap kebudayaan. Kesignifikan yang paling penting dalam kajian ini ialah kebolehan untuk menimbangkan ciri semulajadi (hidrologi dan topografi) dalam perhubungan bukti arkeologi dengan tujuan memeriksa kelakuan pada ruangan sebenar. Selain itu, terdapat juga masalah semasa menghasilkan sebuah model dalam arkeologi. Menurut Kvamme (2006), terdapat empat masalah atau kesukaran untuk menghasilkan model sebuah tapak arkeologi. Ia terdiri daripada tapak arkeologi, persekitaran, kelakuan dan teknikal. Ia boleh diteliti pada Jadual 1 dibawah:

Jadual 1. Beberapa faktor kepelbagaian yang menimbulkan kesukaran dalam proses memodelkan sebuah tapak arkeologi

Perkara	Huraian
Tapak Arkeologi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terdapat banyak tapak arkeologi yang tertanam dan kita tidak boleh memodelkan ia kerana kita tidak boleh dan tidak tahu kedudukan taburan tapak arkeologi tersebut.</li> <li>• Pengagihan tapak terkenal dalam fail-fail kerajaan yang wujud dan pangkalan data adalah berat sebelah (bias) disebabkan oleh (a) cara tidak tersusun di mana banyak yang telah diterokai dan (b) perbezaan-perbezaan dalam penonjolan, jarak penglihatan, dan pemuliharaan.</li> <li>• Banyak tapak yang dikenali adalah berada tidak tepat pada peta dan di dalam pangkalan data</li> <li>• Seseorang tidak boleh memodelkan taburan tapak arkeologi kerana “tapak” adalah suatu konsep tidak bermakna; tingkah laku manusia tidak berlaku dalam kawasan-kawasan diskret terbatas tetapi ia membentuk satu kontinum (continuum) di atas landskap</li> <li>• Kefungsian, temporal, atau jenis-jenis tapak kebudayaan tidak boleh langsung ditentukan untuk kebanyakan tapak dalam sebuah pangkalan data arkeologi, tetapi perbezaan letakan mendalam mestilah wujud antara jenis-jenis itu</li> </ul>

Perkara	Huraian
Persekitaran	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kita mesti dapat memodel dan memahami proses pembentukan arkeologi, baik semulajadi dan budaya, sebelum kita boleh model tapak di mana ini mungkin dijumpai.</li> <li>• Persekitaran lampau adalah berbeza dari zaman sekarang. Oleh itu, kita tidak boleh memodelkan zaman lampau berdasarkan zaman sekarang</li> <li>• Model-model berdasarkan pembolehubah-pembolehubah landskap adalah tidak bermakna</li> <li>• Kita tidak mengetahui lokasi-lokasi sumber penting pada masa lampau secara terperinci seperti sumber air; mata air; taburan spesies flora dan fauna yang boleh dimakan, sumber-sumber litik bahan mentah, dan seumpamanya.</li> <li>• Tingkah laku manusia adalah terlalu istimewa (idiosinkratik) untuk dijadikan model; seseorang tidak boleh memodelkan sesuatu yang unik</li> <li>• Seseorang mesti memahami dan memodelkan sistem kelakuan lengkap sebelum model-model arkeologi itu boleh dibina</li> </ul>
Tingkah Laku atau Kelakuan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lokasi tapak adalah lebih daripada satu fungsi yang tidak dikenali (dan sering tidak dapat diketahui) persekitaran persekitaran sosial mewakili dimensi yang tidak boleh dipetakan</li> <li>• Tempat-tempat yang paling menarik adalah istimewa (idiosinkratik) sekali yang tidak sesuai dengan corak.</li> <li>• Pembolehubah-pembolehubah persekitaran ditunjukkan menjadi penting untuk lokasi-lokasi tapak mungkin hanya menjadi proksi untuk pembolehubah yang sebenarnya adalah penting.</li> <li>• "Blue-line" memperlihatkan pada peta-peta topografi adalah sering sebagai penunjuk-penunjuk arbitrari dan indikator yang tidak boleh dipercayai sebagai petunjuk untuk mewakili air</li> <li>• Jenis-jenis tanah moden tidak bermakna kerana ia adalah berubah daripada masa lepas dan dalam kes tertentu, ia adalah sering tidak relevan untuk amalan-amalan pertanian lepas</li> <li>• Data GIS mempunyai kekurangan resolusi dan kurang mewakili dunia sebenar</li> <li>• Data GIS adalah tidak tepat</li> <li>• Jarak linear dikira dalam GIS adalah tidak bermakna</li> </ul>
Teknikal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Model-model berdasarkan statistik tidak boleh memenuhi pensampelan andaian-andaian rawak kerana sebahagian besar data tidak diperolehi oleh persampelan rawak</li> <li>• Model yang berasal dari persampelan kluster rawak adalah tidak ditentukan kerana ia tidak disesuaikan untuk memandang rendah varians</li> <li>• Pengelompokan tapak daripada pelbagai jenis menjadi satu, mencipta kelas tapak-sekarang terlalu banyak kebolehubahan yang akan dibuat modelnya</li> <li>• Model-model berdasarkan kriteria kehadiran-ketiadaan tapak adalah tidak boleh ditentukan kerana seorang tidak boleh menganggap ketiadaan tapak tersebut</li> </ul>

\*Kebanyakan masalah proses memodelkan semula tapak arkeologi di atas adalah untuk proses model jangkaan tapak yang menggunakan statistik.

Sumber: Kvamme (2006).

Berdasarkan kepada Jadual 1 di atas, punca kepelbagaian yang menimbulkan kesukaran dalam proses memodelkan sebuah tapak arkeologi adalah pelbagai. Antaranya melibatkan tapak arkeologi, persekitaran, tingkah laku atau kelakuan dan tenikal.

Bagi aspek arkeologi, terdapat banyak tapak arkeologi yang tertanam dan mengalami kesukaran untuk memodelkannya. Ini kerana penyelidik tidak boleh dan tidak tahu kedudukan taburan sesebuah tapak arkeologi yang dikaji. Selain itu, elemen pengagihan tapak terkenal dalam fail-fail kerajaan yang wujud dan pangkalan data adalah berat sebelah (bias) disebabkan oleh cara tidak tersusun di mana banyak yang telah diterokai dan perbezaan-perbezaan dalam penonjolan, jarak penglihatan, dan pemuliharaan tapak arkeologi. Ini kerana banyak tapak yang dikenali adalah berada tidak tepat pada peta dan di dalam pangkalan data. Pengkaji atau arkeologi tidak boleh memodelkan taburan tapak arkeologi kerana "tapak arkeologi" adalah suatu konsep yang tidak bermakna; tingkah laku manusia tidak berlaku dalam kawasan-kawasan diskret yang terbatas tetapi ia membentuk satu kontinum (continuum) di atas landskap. Kefungsian, temporal, atau jenis-jenis tapak kebudayaan tidak boleh langsung ditentukan untuk kebanyakan tapak dalam sebuah pangkalan data arkeologi, tetapi perbezaan letakan mendalam mestilah wujud antara jenis-jenis itu. Penyelidik atau arkeologis mesti dapat memodel dan memahami proses arkeologi, baik semulajadi dan budaya, sebelum boleh memodelkan tapak di mana ini mungkin dijumpai. Penggunaan pendekatan geospasial dalam pemodelan tapak arkeologi memerlukan pendekatan holistik yang menggabungkan data geospasial dengan pengetahuan arkeologi tradisional untuk memastikan interpretasi yang tepat dan menyeluruh.

Dalam pemodelan tapak arkeologi menggunakan pendekatan geospasial, terdapat beberapa kesukaran yang mungkin timbul dari perspektif persekitaran. Faktor-faktor ini berkaitan dengan hubungan antara tapak arkeologi dan persekitaran semulajadi serta aktiviti manusia yang mempengaruhi kedua-duanya. Antaranya, persekitaran lampau adalah berbeza dari zaman sekarang. Oleh itu, penyelidik atau arkeologis tidak boleh memodelkan zaman lampau berdasarkan zaman sekarang. Model tapak arkeologi berdasarkan kepada pembolehubah-pembolehubah landskap adalah tidak bermakna. Penyelidik atau arkeologis tidak dapat mengetahui lokasi-lokasi sumber penting pada masa lampau secara terperinci seperti sumber air, mata air, taburan spesies flora dan fauna yang boleh dimakan, sumber-sumber litik bahan mentah, dan seumpamanya. Integrasi data geospasial dengan pemahaman mendalam mengenai faktor-faktor persekitaran ini adalah penting dalam menangani kesukaran yang mungkin timbul. Kolaborasi dengan ahli sains alam, ahli ekologi, dan pakar persekitaran dapat membantu menghasilkan model yang lebih tepat dan holistik.

Dari perspektif tingkah laku manusia dan interaksi mereka dengan persekitaran, terdapat beberapa kesukaran yang mungkin timbul dalam proses memodelkan tapak arkeologi melalui pendekatan geospasial. Antaranya, tingkah laku manusia adalah terlalu istimewa (idiosinkratik) untuk dijadikan model. Penyelidik atau arkeologis tidak boleh memodelkan sesuatu tingkah laku yang unik. Penyelidik atau arkeologis mesti memahami dan memodelkan sistem kelakuan lengkap sebelum model-model arkeologi itu boleh dibina. Lokasi tapak adalah lebih daripada satu fungsi yang tidak dikenali dan sering tidak dapat diketahui persekitaran sosial yang mewakili dimensi yang tidak boleh dipetakan. Manakala, tempat-tempat yang paling menarik adalah istimewa (idiosinkratik) sekali yang tidak sesuai dengan corak. Pembolehubah-pembolehubah persekitaran yang ditunjukkan menjadi penting untuk lokasi-lokasi tapak mungkin hanya menjadi proksi untuk pembolehubah yang sebenarnya adalah penting. Integrasi data geospasial dengan pemahaman mendalam tentang tingkah laku manusia dan isu persekitaran adalah penting untuk pemodelan tapak arkeologi yang holistik. Kolaborasi antara ahli arkeologi, ahli sains alam, dan pakar dalam bidang tingkah laku manusia dapat membantu mengatasi kesukaran ini.

Dari perspektif teknikal, terdapat beberapa kesukaran yang mungkin timbul dalam proses memodelkan tapak arkeologi melalui pendekatan geospasial. Faktor-faktor ini berkaitan dengan penggunaan teknologi, peralatan, dan pemprosesan data. Antaranya, "Blue-line" memperlihatkan pada peta topografi adalah sering sebagai penunjuk arbitrari dan indikator yang tidak boleh dipercayai. Sebagai contoh, petunjuk yang mewakili air. Jenis-jenis tanah moden tidak bermakna kerana ia adalah berubah daripada masa lepas dan dalam kes tertentu, ia adalah sering tidak relevan untuk amalan pertanian lepas. Ini kerana data GIS mempunyai kekurangan resolusi dan kurang mewakili dunia sebenar, tidak tepat, dan jarak linear dikira dalam GIS adalah tidak bermakna. Model-model berdasarkan statistik tidak boleh memenuhi pensampelan andaian rawak kerana sebahagian besar data tidak diperolehi dari persampelan rawak. Model yang berasal dari persampelan kluster rawak adalah tidak ditentukan kerana ia tidak disesuaikan untuk memandang rendah varians. Pengelompokan tapak daripada pelbagai jenis menjadi satu, mencipta kelas tapak-sekarang terlalu banyak kebolehubahan yang akan dibuat modelnya. Model-model berdasarkan kriteria kehadiran ketiadaan tapak adalah tidak boleh ditentukan kerana penyelidik atau arkeologis tidak boleh menganggap ketiadaan tapak tersebut. Dalam mengatasi kesukaran teknikal ini, penting untuk melibatkan pakar teknologi dalam proses pemodelan dan memberikan latihan kepada ahli arkeologi mengenai teknik dan peralatan yang digunakan. Kolaborasi antara ahli arkeologi dan pakar teknologi adalah kunci untuk pemodelan yang berjaya.

## **Kesimpulan**

Kesimpulannya, artikel ini menekankan peranan penting pendekatan geospasial dalam arkeologi dan menyerlahkan potensi besar untuk penyelidikan masa depan dalam bidang ini. Penggunaan analisis geospasial telah pun menghasilkan pendedahan yang ketara mengenai taburan dan corak ciri arkeologi pada landskap. Dengan kemajuan teknologi, pendekatan geospasial dijangka menjadi lebih berharga untuk penyelidikan arkeologi. Walau bagaimanapun, adalah mustahak bagi ahli arkeologi untuk berhati-hati dan menimbang faedah dan cabaran yang berkaitan dengan analisis geospasial, memastikan kaedah ini digunakan secara berhemah dan beretika.

Teknologi maklumat geografi seperti foto udara, penderiaan jauh, sistem keletakan global (GPS) dan sistem Maklumat Geografi (GIS) sememangnya penting dalam membantu ahli arkeologi memahami dan

membuat interpretasi tentang kewujudan kebudayaan manusia pada zaman silam serta revolusinya. Walaupun arkeologis menggunakan teknologi GIS pada kadar dengan begitu cepat dan pesat sekali akan tetapi penerbitan terhadap bahan ini tidak secepat seperti penggunaan teknologi maklumat geografi tersebut di dalam bidang arkeologi (Mehrer & Wescott, 2006). Ini adalah kerana kajian penggunaannya adalah memakan masa bagi sesebuah penyelidikan untuk diterbitkan bahan kajian mereka dalam bentuk tesis ataupun jurnal. Selain itu, seseorang itu mestilah pakar dalam teknologi maklumat geografi tersebut disamping di negara dunia ketiga yang membangun seperti Malaysia masih kekurangan pakar dan kurang berminat membuat kajian dalam bidang tersebut (Ahmad, 2015; Ahmad et al., 2011, 2013, 2015; Ahmad & Masron, 2013; Basiron et al., 2014; Jubit et al., 2023; Marzuki et al., 2023; Mohd Ayob et al., 2013, 2014; Zakaria et al., 2023).

Lagipun teknologi maklumat geografi seperti penderiaan jauh telah maju ke hadapan dengan cepat lebih dari apa yang kita bayangkan atau pegang atau fahami dan terdapat satu hos kaedah baru dalam penderiaan jauh yang boleh dicapai dengan mudah. Sepatutnya kita boleh terbang melalui udara dan hanya merekodkan maklumat yang membawa kepada petunjuk-petunjuk pengenalpastian tapak-tapak arkeologi? Kita sebenarnya boleh membuat perkara ini hampir berabad melalui fotografi udara konvensional di mana bentuk biasa geometri tetap untuk penempatan manusia (ciri-ciri persegi, bulat, segi empat tepat dan linear) adalah mudah untuk dikenalpasti (Kvamme, 2006). Selain itu, survei udara seperti foto udara dan sekarang dikenali dengan penderiaan jauh juga dianggap tidak merosakkan tapak arkeologi (*non-destructive*) kerana ia sebuah alat yang berkuasa yang berusia hampir selama 80 tahun digunakan di dalam bidang arkeologi (Gamble, 2008) berbanding dengan ekskavasi arkeologi yang dianggap sebagai proses pemusnahan tapak (Fagan & DeCorse, 2005).

**Penghargaan:** Penulis ingin merakamkan penghargaan kepada Universiti Sains Malaysia dan Kementerian Pengajian Tinggi bagi Skim Geran Universiti Penyelidikan (Research University Grant-RU) iaitu “Memodelkan Semula Paleo Alam Tapak Arkeologi Lenggong, Perak = 1001p/humaniti/811047” dan Bajet Mini, Kementerian Pengajian Tinggi yang membolehkan penyelidikan dan artikel ini menjadi kenyataan.

**Konflik Kepentingan:** Pengkaji tidak mempunyai konflik kepentingan antara semua pihak yang terlibat dalam kajian ini.

## Rujukan

- Ahmad, A. (2015). Aplikasi sistem maklumat geografi dalam pengurusan data tapak arkeologi. Dlm T. Masron, & M. Saidin. *Teknologi maklumat ruangan dalam arkeologi*. Penerbit Universiti Sains Malaysia.
- Ahmad, A., & Masron, T. (2013). Aplikasi Sistem Maklumat Geografi (GIS) dalam menganggar keluasan petempatan awal di tapak arkeologi Lembah Lenggong, Hulu Perak, Perak, Malaysia. *Jurnal Perspektif: Jurnal Sains Sosial dan Kemanusiaan*, 5(1), 19-38.
- Ahmad, A., Masron, T., Osman, M. A., Mohammed, B., & Marzuki, A. (2011). Initial Studies on Web Based Tourism Decision Support System (WBTDSS) case study: Langkawi Island, Kedah. In Azizi Bahuddin (Ed.). *Proceedings of 2nd Regional Conference on Tourism Research: Venturing into New Tourism Research* (pp. 344-359). Sustainable Tourism Research Cluster (STRC), Universiti Sains Malaysia.
- Ahmad, A., Masron, T., & Saidin, M. (2015). Aplikasi sistem maklumat geografi untuk menganggar keluasan petempatan awal tapak arkeologi Lembah Lenggong, Hulu Perak, Perak. Dlm T. Masron, & M. Saidin. *Teknologi maklumat ruangan dalam arkeologi*. Penerbit Universiti Sains Malaysia.
- Ahmad, A., Mohd Ayob, N., & Abdul Majid, A. (2013). Regional Carrying Capacity (RCC) issues Langkawi Islands, Kedah. In B. Mohamed & A. Bahauddin, *Proceedings of International Conference on Tourism Development: Building the Future of Tourism, Penang, Malaysia*, 4 & 5 February 2013 (pp. 487). Sustainable Tourism Research Cluster, Universiti Sains Malaysia.
- Allen, K. M. S. (1990). Part IV: Applications: 25-modelling early historic trade in The Eastern Great Lakes using geographic information systems. In K. M. S. Allen., S. W. Green., & E. B. W. Zubrow, *Interpreting Space: GIS and archaeology* (pp. 319 – 329). Taylor & Francis Ltd.



- Aldenderfer, M., & Maschner, H.D.G. (1996). *Anthropology, space, and geographic information systems*. Oxford University Press.
- Basiron, N. F. Z., Ahmad, A., & Masron, T. (2014). Spatial analysis of international tourist movement to langkawi for 2010 and 2011. *4th International Conference on Tourism Research (4ICTR), SHS Web of Conferences*, 12(01066). <https://doi.org/https://doi.org/10.1051/shsconf/20141201066>
- British Archaeological Jobs Resource. (2004). *A short guide to GPS*. British: ©Souterrain Archaeological Services Ltd. <http://www.bajr.org/Documents/AShortGuidetoGPS.pdf>.
- Church, T., Brandon, R.J., & Burgett, G.R. (2000). Chapter nine-gis applications in archaeology: Method in search of theory. In K. L. Wescott, & R. J. Brandon. *Practical applications of GIS for archaeologists: A predictive modeling kit*. Taylor & Francis.
- Cochrane, D. (2016). *Pioneering aerial archeology by Charles and Anne Lindbergh*. <https://airandspace.si.edu/stories/editorial/pioneering-aerial-archeology-charles-and-anne-lindbergh>.
- Connolly, J. & Lake, M. (2006). *Geographical information systems in archaeology-reprinted 2007*. Cambridge University Press.
- Evans, T.L. & Daly, P. (2006). *Digital archaeology-bridging method and theory*. Routledge, Taylor & Francis Group.
- Fagan, B.M. & DeCorse, C.R. (2005). *In the beginning: An introduction to archaeology*. Pearson, Prentice Hall.
- Foresman, T.W. (1998). *The history of geographic information systems: Perspectives from the Pioneers*. Practice-Hall, Inc.
- Gamble, C. (2008). *Archaeology: The basic* (2nd Edition). Routledge.
- Gregory, I. N., & Ell, P. S. (2007). *Historical GIS-technologies, methodologies and scholarship*. Cambridge University Press.
- Giardino, M., & Haley, B.S. (2006). 4-Airborne Remote Sensing and Geospatial Analysis. In J. K. Johnson, *Remote sensing in archaeology-An explicitly North American Perspective* (pp. 47-78). The University of Alabama Press.
- Harris, T.M. (2002). Chapter ten: GIS in archaeology. In A. K. Knowles, *Past time, past place: GIS for history* (pp. 131-144). ESRI Press.
- Jackson, J.M. (1990). Part IV: Applications: 22-building an historic settlement database in GIS. In K. M. S., Allen, S.W. Green, & E. B. W. Zubrow, *Interpreting space: GIS and archaeology* (pp. 274-283). Taylor & Francis Ltd.
- Johnson, J. K. (2006). *Remote Sensing in Archaeology - An explicitly North American Perspective*. The University of Alabama Press.
- Jubit, N., Masron, T., Puyok, A., & Ahmad, A. (2023). Geographic distribution of voter turnout, ethnic turnout and vote choices in Johor State Election. *Geografia-Malaysian Journal of Society and Space*, 19(4), 64-76. <https://doi.org/https://doi.org/10.17576/geo-2023-1904-05>
- Knowles, A. K. (2002). *Past time, past place: GIS for history*. ESRI Press.
- Kvamme, K. L. (1995). 1-A View from across the water: The North American experience in archaeological GIS. In G. Lock, & Z. Stančič, *Archaeology and geographical information systems: A European perspective* (pp. 1-14). Taylor & Fancis Inc.
- Kvamme, K. L. (2006). Section 1: Introduction: 1 there and back again: Revisiting archaeological locational modeling. In M. W. Mehrer, & K. L. Wescott, *GIS and archaeological site location modelling* (pp. 3-40). CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Limp, W. F. (1987). *The identification of archaeological site patterning through integration of remote sensing, geographic information systems, and explanatory data analysis*. Ms. on file at the Arkansas Archaeological Survey, Fayetteville.
- Lock, G., & Stančič, Z. (1995). *Archaeology and geographical information systems: A European perspective*. Taylor & Fancis Inc.
- Lock, G. (2000). *Beyond the map: Archaeology and Spatial Technologies*. IOS Press.
- Lock, G. (2003). *Using computers in archaeology-towards virtual pasts*. Routledge, Taylor & Francis Group.

- Lock, G. & Molyneaux, B.L. (2006). *Confronting scale in archaeology-issues of theory and practice*. Springer Science+Business Media, LLC.
- Madry, S. L. H., & Crumley, C. L. (1990). Part IV: Applications: 28-an application of remote sensing and GIS in Regional Archaeological Settlement Pattern Analysis: The Arroux River Valley, Burgundy, France. In K. M. S. Allen, S. W. Green, & E. B. W. Zubrow. *Interpreting space: GIS and archaeology* (pp. 364-380). Taylor & Francis Ltd.
- Marzuki, A., Bagheri, M., Ahmad, A., Masron, T., & Akhir, M. F. (2023). Establishing a GIS-SMCDA model of sustainable eco-tourism development in Pahang, Malaysia. *Episodes: Journal of International Geoscience*, 46(3), 375–387. <https://doi.org/https://doi.org/10.18814/epiiugs/2022/022037>
- McPherron, S. P., & Dibble, H. L. (2002). *Using computers in archaeology: Practical guide*. McGraw-Hill Companies.
- Mehrer, M. W., & Wescott, K. L. (2006). *GIS and archaeological site location modeling*. CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Mohd Ayob, N., Ahmad, A., & Mohamed, B. (2013). *Spatial distributions of tourist in Langkawi Island. Proceedings of International Conference on Tourism Development*, pp. 301-309.
- Mohd Ayob, N., Masron, T., & Ahmad, A. (2014). Taburan ciri-ciri sosio-demografi pelancong domestik mengikut lokasi di Pulau Langkawi. *International Journal of Environment, Society and Space*, 2(2), 35–49.
- Okabe, A. (2006). 1-Introduction. In A. Okabe, *GIS-based studies in the humanities and social sciences* pp. 1-18). CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Parcak, S. H. (2009). *Satellite remote sensing for archaeologist*. Routledge, Taylor & Francis Group.
- Reid, B. A. (2008). Introduction - Archaeology and geoinformatics: Case studies from the Caribbean. In B. A. Reid (Ed.). *Archaeology and geoinformatics: Case studies from the Caribbean* (pp. 1-12). The University of Alabama Press.
- Robertson E. C., Seibert, J. D., Fernandez, D. C., & Zender M. U. (2006). *Space and spatial analysis in archaeology*. University of Calgary Press.
- Samat, N., Farhi, S. K., Nik Hussain, N. H., Ghazali, S., & Masron, T. (2010). Bab 17-aplikasi sistem maklumat geografi dan analisis ruangan dalam memahami corak petempatan penduduk di Lembah Bujang. In S. Chia, & H. M. Isa. *Archaeological heritage of Malaysia* (pp. 291-301). Pusat Penyelidikan Arkeologi Global, Universiti Sains Malaysia.
- Tennant, E. W. (2005). *Using ArcGIS to create 'living documents' with archaeological data: A case study from Svalbard, Norway*. [Master's dissertation, Michigan Technology University].
- Tennant, E. W. (2007). *A Sample geodatabase structure for managing archaeological data and resources with ArcGIS*. Technical Briefs in Historical Archaeology. [https://sha.org/assets/documents/Technical\\_briefs\\_articles/vol2article\\_02.pdf](https://sha.org/assets/documents/Technical_briefs_articles/vol2article_02.pdf).
- Tsumura, H. (2006). 13-Site-Catchment analysis of prehistoric settlements by reconstructing paleoenvironments with GIS. In A. Okabe (Ed.). *GIS-based studies in the humanities and social sciences* (pp.175-190). CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Verhagen, J. W. H. P. (2007). *Case studies in archaeological predictive modelling*. Leiden University Press.
- Wescott, K.L., & Brandon, R.J. (2000). *Practical Applications of GIS for Archaeologists: A Predictive Modeling Kit*. Taylor & Francis.
- Wheatley, D., & Gillings, M. (2002). *Spatial technology and archaeology: The archaeological applications of GIS*. Taylor & Francis Inc.
- Wilbanks, T. J. (2004). Chapter 1: Geography and technology. In S. D. Brunn, S. L. Cutter, & J. W. Harrington. *Geography and technology*. Kluwer Academic Publishers.
- Wiseman, J., & El-Baz, F. (2007). *Remote Sensing in archaeology*. Springer Science + Business Media, LLC.
- Zakaria, Y. S., Ahmad, A., Said, M. Z., Epa, A. E., Ariffin, N. A., M Muslim, A., Akhir, M. F., & Hussin, R. (2023). GIS and oil spill tracking model in forecasting potential oil spill-affected areas along Terengganu and Pahang Coastal Area. *Planning Malaysia: Journal of the Malaysian Institute of Planners*, 21(4). <https://doi.org/https://doi.org/10.21837/pm.v21i28.13>