



REVOLUSI ARKEOLOGI DIGITAL: **Analisis Literatur terhadap Dampak Transformasi Teknologi**

The Digital Archaeology Revolution: A Literature Review of the Impact of Technological Transformation

Nurul Aulia Fahri

Universitas Hasanuddin – Makassar
Jl. Perintis Kemerdekaan Km. 10 Makassar, 90245, Indonesia
auliaarohmadanny@gmail.com

Abstrak

Transformasi teknologi digital telah membawa dampak signifikan terhadap praktik arkeologi global, termasuk metode pengumpulan, analisis, hingga penyebaran data. Kajian ini bertujuan untuk menganalisis bagaimana arkeologi digital merevolusi pendekatan arkeologi konvensional melalui tinjauan pustaka sistematis. Metode penelitian ini dilakukan dengan mengidentifikasi dan menelaah sejumlah literatur ilmiah yang relevan, terutama terkait dengan penerapan teknologi seperti LiDAR, GIS, photogrammetry, dan kecerdasan buatan dalam studi arkeologi. Hasil kajian menunjukkan bahwa pemanfaatan teknologi digital tidak hanya mempercepat proses dokumentasi dan interpretasi, tetapi juga memperluas akses terhadap data arkeologi, baik oleh peneliti maupun publik. Meski demikian, transformasi ini menghadirkan tantangan, termasuk kebutuhan akan kompetensi teknis, etika representasi digital, dan keterbatasan infrastruktur di negara berkembang. Penelitian ini menekankan pentingnya pemahaman kritis terhadap perubahan paradigma dalam praktik arkeologi serta perlunya adaptasi metodologis dan kolaborasi lintas disiplin ke depan.

Kata kunci: arkeologi digital, teknologi, kajian literatur, LiDAR, GIS

Abstract

The transformation of digital technology has significantly impacted global archaeological practices, including methods of data collection, analysis, and dissemination. This study aims to examine how digital archaeology revolutionizes conventional approaches through a systematic literature review. The research method involves identifying and analyzing relevant scholarly literature, particularly concerning the use of LiDAR, GIS, photogrammetry, and artificial intelligence in archaeological studies. The findings reveal that digital technologies not only accelerate documentation and interpretation but also broaden access to archaeological data for both researchers and the public. Nevertheless, this transformation presents challenges, including the need for technical competence, ethical considerations in digital representation, and infrastructure limitations in developing countries. This research highlights the importance of critically understanding the paradigm shift in archaeological practice and the necessity for methodological adaptation and interdisciplinary collaboration moving forward.

Keywords: digital archaeology, technology, literature review, LiDAR, GIS

*Corresponding Author: auliaarohmadanny@gmail.com

Doi: <https://doi.org/10.55981/kapata.2025.12118>

Accepted 22 06 2025; Examined 28 11 2025; approved 31 12 2025; Published online 31 12 2025

1858-4101 / 2503-0876 ©2025 The Author(s). Published by BRIN Publishing.

This is an open access journal under a Creative Commons Attribution-ShareAlike (CC BY-SA) license.

How to Cite: Fahri, N.A. (2025). Revolusi Arkeologi Digital: Analisis Literatur terhadap Dampak Transformasi Teknologi. *Kapata Arkeologi* 18 (2025), 41-51.

PENDAHULUAN

Arkeologi pada awalnya berkembang sebagai disiplin yang sangat bergantung pada kerja lapangan tradisional. Metode konvensional meliputi survei langsung, penggalian manual, pencatatan artefak secara fisik, serta analisis laboratorium berbasis deskripsi artefaktual. Proses ini membutuhkan waktu yang panjang, tenaga yang besar, dan seringkali terbatas pada lokasi yang dapat dijangkau secara fisik. Dalam kerangka tradisional, data diperoleh terutama melalui observasi lapangan dan dokumentasi manual, kemudian ditafsirkan untuk merekonstruksi kehidupan masa lalu.

Namun, perkembangan teknologi digital telah menciptakan gelombang baru dalam praktik arkeologi yang dikenal sebagai arkeologi digital. Istilah ini mengacu pada penggunaan perangkat dan metode digital di seluruh tahap penelitian, mulai dari survei, penggalian, dokumentasi, analisis, hingga publikasi (Morgan & Eve, 2012). Pergeseran ini menggambarkan transformasi signifikan dari pendekatan arkeologi tradisional menuju pemanfaatan data digital yang lebih luas dan efisien.

Dalam dua dekade terakhir, teknologi seperti LiDAR (*Light Detection and Ranging*), penginderaan jauh, GIS (*Geographic Information System*), fotogrametri digital, dan bahkan kecerdasan buatan (AI) telah diadopsi secara luas dalam penelitian arkeologi di berbagai belahan dunia (Opitz & Herrmann, 2018; Traviglia & Torsello, 2017). Teknologi ini terbukti mampu meningkatkan efisiensi dokumentasi, mengakses situs yang sulit dijangkau, hingga melakukan visualisasi rekonstruksi situs secara tiga dimensi (Campana, 2017).

Namun, konversi ini juga mengundang banyak pertanyaan. Bisakah digitalisasi menggantikan kerja lapangan? Bagaimana perubahan ini mempengaruhi validitas data dan interpretasi arkeologis? Dan seberapa baik

para arkeolog dapat mengakses dan termotivasi untuk merespons revolusi ini, terutama di daerah-daerah yang fasilitas teknologinya tidak terdistribusi secara merata? Untuk menjawab pertanyaan tersebut, artikel ini menggunakan kerangka interdisipliner:

1. **Teori Transformasi Teknologi** (Rogers, 2003), yang menjelaskan proses adopsi inovasi berdasarkan akses, motivasi, dan manfaat yang dirasakan.
2. **Arkeologi sebagai Praktik Sosial** (Lucas, 2012), yang menekankan bahwa teknologi juga mengubah hubungan antara arkeolog, data, dan masyarakat.
3. **Critical Digital Archaeology** (Huggett, 2015; 2020), yang mengingatkan perlunya sikap kritis agar efisiensi teknologi tidak mengabaikan konteks sosial, historis, dan etika.

Dengan menggabungkan perspektif tersebut, arkeologi digital dipahami tidak hanya sebagai penerapan alat digital, melainkan sebagai perubahan paradigma yang menyentuh aspek epistemologis, metodologis, dan sosial. Oleh karena itu, penting menempatkan arkeologi digital dalam kerangka etika, keberlanjutan, serta relevansi sosialnya.

Artikel ini bertujuan untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan melalui penelitian literatur terbaru yang terkait dengan praktik arkeologi digital. Studi ini didasarkan pada pendekatan kualitatif dengan analisis pustaka yang sistematis (Siddaway, Wood & Hedges, 2019). Selain itu juga dilakukan telaah pada paradigma dan metode transformasi dalam arkeologi berdasarkan integrasi teknologi digital, menyoroti manfaat, keterbatasan, dan tantangan yang timbul dari fenomena ini. Artikel ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih rinci tentang konseptual dan dasar pengembangan praktik

arkeologi digital di Indonesia, di mana situs arkeologi berlimpah tetapi akses fisik dan teknis terbatas.

METODE

Studi ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode penelitian literatur analitik deskriptif. Tujuannya adalah untuk mempelajari dan menafsirkan pemikiran ilmiah yang diterbitkan secara publik dalam kaitannya dengan efek transformasi teknologi digital pada praktik arkeologis. Studi ini tidak mencakup kegiatan pengumpulan data lapangan yang bersifat primer, tetapi didasarkan pada sumber sekunder seperti artikel jurnal, buku akademik, prosedur dan laporan penelitian terkait yang diperoleh melalui mesin pencari akademik seperti Google Cendekia/Scholar, ScienceDirect, dan Research Gate.

1. Kriteria seleksi literatur

Seleksi literatur didasarkan pada kriteria berikut:

- Dipublikasikan dalam 10–15 tahun terakhir (2009–2024),
- Mengulas penerapan teknologi digital dalam konteks arkeologi,
- Relevan secara tematik dengan topik digitalisasi, seperti GIS, LiDAR, AI, fotogrametri, dan *digital public archaeology*,
- Ditulis dalam bahasa Indonesia atau Inggris dan bersifat akademis.

Sebanyak 25-30 literatur telah secara sengaja dipilih untuk analisis lebih lanjut.

2. Prosedur Penelitian

Prosedur untuk penelitian ini meliputi:

- Identifikasi sumber berdasarkan kata kunci seperti: *digital archaeology*, LiDAR in archaeology, GIS archaeology, photogrammetry, AI and archaeology, ethics in digital heritage, dll.
- Klasifikasi dan pengelompokan tema: setiap

artikel dianalisis dan dikelompokkan berdasarkan teknologi yang dibahas serta dampaknya.

- Analisis isi dilakukan dengan pendekatan deskriptif-kritis, mengkaji bagaimana literatur-literatur tersebut merepresentasikan manfaat, tantangan, dan perubahan paradigma dalam praktik arkeologi.
- Sintesis dilakukan untuk menarik benang merah dari keseluruhan temuan dan membangun argumentasi utama artikel ini.

3. Batasan Penelitian

Karena sumber data utama penelitian ini adalah literatur sekunder, artikel ini tidak menyajikan studi kasus tertentu atau data lapangan empiris. Selain itu, akses yang terbatas ke beberapa publikasi ilmiah internasional berbayar juga merupakan salah satu hambatan potensial untuk mengumpulkan literatur.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Transformasi Metodologi dalam Arkeologi

Dalam perkembangannya, metode penelitian arkeologi mengalami perubahan besar berkat kemajuan teknologi digital. Jika sebelumnya penelitian arkeologi sangat bergantung pada kerja manual yang membutuhkan waktu lama, tenaga banyak, dan proses penggalian yang melelahkan, kini metode tersebut mulai dilengkapi bahkan digantikan oleh teknologi pemetaan digital.

Sebagai contoh, teknologi seperti LiDAR dan *drone* (UAV) memungkinkan pemetaan situs arkeologi secara cepat tanpa harus menggali seluruh area secara fisik. Hal ini membuat para arkeolog dapat mengenali bentuk permukaan tanah, pola pemukiman, atau struktur tersembunyi dengan lebih efisien. Dengan demikian, transformasi digital membantu mengurangi ketergantungan pada cara kerja konvensional yang serba manual.

Sebagai contoh, penelitian di kawasan Angkor, Kamboja, berhasil menemukan pola permukiman kuno yang sebelumnya

tersembunyi di bawah hutan tropis dengan menggunakan teknologi LiDAR (Evans et al., 2013). Di Indonesia, UAV (*drone*) dimanfaatkan oleh Balai Arkeologi Yogyakarta untuk memetakan situs Liyangan di Temanggung, Jawa Tengah. Dengan teknologi ini, peneliti dapat membuat model digital detail permukaan situs tanpa harus melakukan penggalian besar-besaran. Hal ini mempermudah dokumentasi awal sekaligus menjaga kondisi situs tetap utuh.

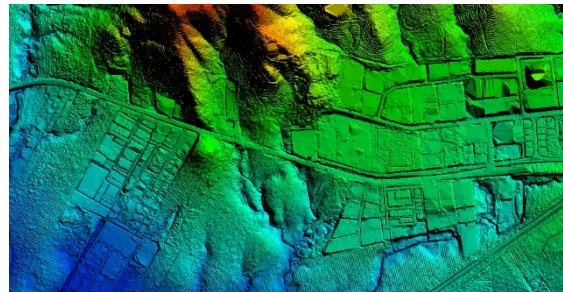


Gambar 1: lustrasi drone UAV yang dipasang sensor LiDAR untuk pemetaan udara. Sumber: SPH Engineering / ilustrasi teknologi LiDAR drone.

Teknologi ini mempercepat proses dokumentasi lokasi, mengurangi ketergantungan pada pekerja skala besar, dan memungkinkan penelitian dilakukan di bidang yang menantang. Namun, efisiensi ini mengharuskan para arkeolog untuk memiliki keterampilan digital yang tepat. Ini adalah tantangan di beberapa institusi.

Pengolahan dan Visualisasi Digital

Digitalisasi berubah tidak hanya bagaimana data dikumpulkan, tetapi juga bagaimana data diproses dan divisualisasikan. Dalam hal ini, teknologi utama yang paling sering digunakan adalah GIS (sistem informasi geografis) dan fotogrametri digital.

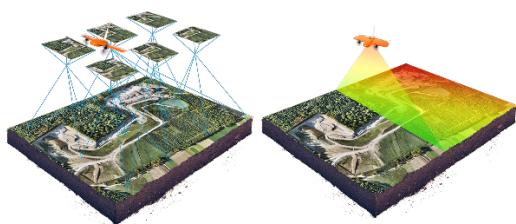


Gambar 2: Contoh representasi 3D dari data LiDAR yang menunjukkan topografi area survey. Sumber: Jouav / ilustrasi 3D mapping.

GIS adalah sistem informasi digital yang dapat mengintegrasikan berbagai data arkeologis, mulai dari distribusi artefak secara spasial, topografi, hingga artefak. Oleh karena itu, GIS memainkan peran penting dalam analisis pola pemukiman, penggunaan lahan, dan hubungan antar lokasi. Sebagai contoh, sebuah studi oleh Connolly dan Lake (2006) menunjukkan bagaimana GIS digunakan untuk memahami distribusi pemukiman prasejarah di Eropa berdasarkan penghapusan sumber daya air dan penelitian.

Di Indonesia, GIS digunakan dalam analisis lanskap situs megalitik di Sumba (Arifin & Nurnangingsih, 2019) dan berkontribusi pada pemetaan hubungan antara distribusi batu besar dan karakteristik geografis.

Fotogrametri digital, di sisi lain, membuat model 3D menggunakan foto berbagai sudut. Metode ini sangat berguna dalam dokumen, struktur, atau lokasi artefak tanpa menghubungi kontak fisik. Penelitian oleh Remondino et al. (2012) menunjukkan tinggi akurasi fotogrametri dalam rekonstruksi arsitektur bangunan kuno. Selain itu, kombinasi gerak (SFM) dan struktur dari *drone* memungkinkan rekonstruksi area berskala besar dengan biaya relatif.



Gambar 3: Diagram perbandingan pemetaan dengan LiDAR dan fotogrametri dari UAV. Sumber: Wingtra / diagram ilustratif pemetaan udara.

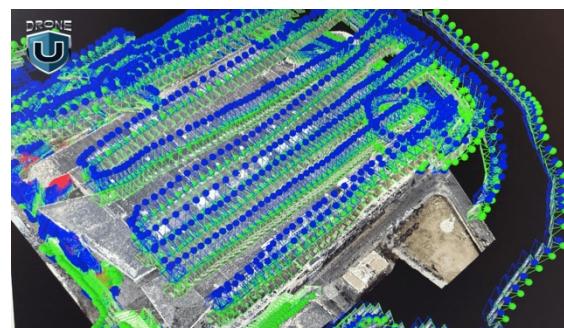
Sementara itu, teknologi *Machine Learning* (ML) dan *Artificial Intelligence* (AI) mulai diterapkan dalam arkeologi. *Machine Learning* adalah cabang dari kecerdasan buatan yang memungkinkan komputer belajar mengenali pola dari data, tanpa harus diprogram secara detail. Dalam konteks arkeologi, ML dapat digunakan untuk mengklasifikasikan artefak, misalnya fragmen keramik, berdasarkan bentuk, warna, atau tekturnya. *Artificial Intelligence* (AI) secara lebih luas adalah kemampuan sistem komputer untuk meniru cara berpikir manusia, termasuk menganalisis data dalam jumlah besar. Salah satu penerapannya adalah pada analisis citra satelit, di mana AI dapat membantu mendeteksi lokasi-lokasi yang berpotensi memiliki situs arkeologi baru. Studi Orengo & Garcia-Molsosa (2021) menunjukkan bahwa kombinasi ML dan AI dapat secara otomatis mengidentifikasi fitur arkeologis dalam data citra satelit. Di masa depan, algoritma ini berpotensi menggantikan sebagian proses identifikasi awal dalam survei arkeologi, sehingga mempercepat penelitian di lapangan.

Namun, semua teknologi ini membutuhkan pelatihan teknis dan perangkat keras khusus yang belum merata ketersedianya di seluruh lembaga arkeologi, khususnya di negara berkembang. Kesadaran akan pelatihan digital dan kolaborasi multidisiplin menjadi sangat penting dalam konteks ini.

Arsip dan Aksesibilitas Digital

Salah satu kontribusi penting dari revolusi arkeologi digital adalah munculnya arsip digital. Arsip digital adalah kumpulan data arkeologis yang disimpan dalam format elektronik, meliputi laporan penelitian, foto, peta, model 3D, hingga basis data situs. Tujuan utama arsip digital adalah menjaga keberlanjutan informasi, memudahkan akses bagi peneliti maupun publik, serta melindungi data dari risiko kerusakan fisik.

Manfaat arsip digital sangat besar, antara lain memungkinkan peneliti di berbagai belahan dunia untuk mengakses data tanpa harus hadir langsung di lokasi, mendukung transparansi penelitian, serta membuka peluang kolaborasi lintas negara. Dengan digitalisasi, data arkeologi dapat “melewati batas ruang dan waktu,” sehingga tidak lagi terikat pada lokasi penyimpanan fisik tertentu.



Gambar 4: Tampilan titik-titik data (point cloud) hasil pengukuran LiDAR. Sumber: The DroneU / visualisasi point cloud.

Context di Amerika Serikat yang menyediakan akses terbuka untuk data arkeologi. Sementara di Indonesia, inisiatif seperti Repositori BRIN dan Sistem Informasi Purbakala Nasional (SIPN) mulai dikembangkan untuk mengintegrasikan data arkeologi secara online dan dapat diakses publik.

Selain itu, teknologi seperti pemindaian 3D dan realitas virtual (VR) memungkinkan akses publik melalui rekonstruksi digital tanpa kehadiran fisik. Proyek-proyek seperti Virtual Angkor (Carter

et al., 2019) adalah contoh bagaimana visualisasi 3D dapat digunakan untuk tujuan pendidikan dan diplomasi budaya.

Dalam konteks penyimpanan, model digital dengan resolusi tinggi memungkinkan dokumentasi lokasi situs yang akurat baik itu sebelum, selama, maupun sesudah penyimpanan fisik dilakukan. Ini sangat berguna di daerah rawan bencana atau konflik, di mana lokasi situs dapat tiba-tiba rusak.

Namun, manajemen data digital memerlukan infrastruktur penyimpanan, pedoman hak akses dan sistem metadata yang kuat. Tantangan lain adalah kesenjangan digital antara institusi dengan sumber daya teknis dan institusi yang tidak nasional dan global. Oleh karena itu, upaya untuk membangun jaringan data terbuka yang terintegrasi akan menjadi agenda yang penting.

Pemanfaatan Teknologi Digital terhadap Data Arkeologi

Kajian ini menyoroti beberapa literatur utama yang berperan penting dalam mengembangkan arkeologi digital, dengan fokus pada pemanfaatan teknologi seperti LiDAR, GIS, fotogrametri, *machine learning*, dan pemodelan 3D. Setiap studi dikaji dari sisi metodologi, temuan, dan kontribusinya terhadap disiplin arkeologi.

a. LiDAR (*Light Detection and Ranging*)

LiDAR adalah pemindaian laser jarak jauh yang memancarkan pulsa cahaya dan mengukur waktu pantulnya untuk membuat model elevasi permukaan tanah dengan resolusi tinggi.

Tujuan dan manfaat: Mengungkap bentuk permukaan dan fitur yang terselubungi di bawah vegetasi; mempercepat survei regional non-invasif.

Contoh literatur dan kasus: Chase et al. (2012) menunjukkan bagaimana

LiDAR mengungkap jaringan permukiman maya di kawasan Angkor (lebih dari 200 km²), yang menjadi bukti kuat kemampuan LiDAR pada kawasan tropis.

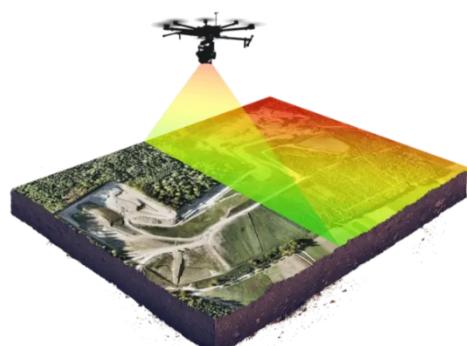
Kontribusi terhadap arkeologi: Memungkinkan survei skala besar yang sebelumnya mustahil atau sangat mahal secara manual.

b. UAV (*drone*) dan Fotogrametri

UAV adalah platform udara tanpa awak yang membawa kamera; sedangkan fotogrametri memproses banyak foto dari sudut berbeda menjadi model 3D (*Structure-from-Motion*).

Tujuan dan manfaat: Membuat peta dan model 3D resolusi tinggi dengan biaya relatif rendah; cocok untuk dokumentasi situs, monitoring erosi, dan pemetaan area luas.

Contoh literatur & kasus: Remondino et al. (2014) mendeskripsikan kemampuan fotogrametri berbasis *drone* untuk menghasilkan model 3D berkualitas tinggi. Di Indonesia, Balai Arkeologi Yogyakarta menggunakan UAV untuk memetakan situs Liyangan (Temanggung), sehingga dapat membuat model permukaan situs tanpa penggalian besar.



Gambar 5: Output pemetaan LiDAR yang menunjukkan representasi elevasi warna dari permukaan tanah. Sumber: Flyability / visualisasi data LiDAR.

dokumentasi visual dan meminimalkan kerusakan fisik pada situs.

c. GIS (*Geographic Information System*)

GIS adalah sistem untuk menyimpan, mengolah, dan menganalisis data spasial dari berbagai skala—dari titik artefak hingga lanskap regional.

Tujuan dan manfaat: Mengintegrasikan data multiskala untuk analisis pola pemukiman, jaringan komunikasi, hubungan lingkungan, dan perubahan lanskap.



Gambar 6: Visualisasi data spasial dan peta 3D yang menunjukkan penggunaan *Geographic Information System* (GIS) untuk penyimpanan, pengolahan, dan analisis data spasial dalam berbagai skala di penelitian dan aplikasi lapangan. Sumber: Esri (domain edukasi/komersial), ilustrasi GIS.

Contoh literatur dan kasus: Opitz & Herrmann (2018) dan Opitz & Limp (2015) menyoroti kapasitas GIS sebagai alat integratif antara data arkeologi mikro dan makro.

Kontribusi terhadap arkeologi: Menjadi alat analitis penting untuk memahami konteks ruang dan interaksi manusia–lingkungan.

d. Machine Learning (ML) dan Artificial Intelligence (AI)

ML adalah teknik yang memungkinkan komputer mengenali pola dari data; sedangkan AI lebih luas mencakup kemampuan sistem untuk melakukan tugas-tugas cerdas, termasuk pengolahan citra dan prediksi.



Gambar 7: Contoh penggunaan deep learning dan kecerdasan buatan (AI) dalam pemrosesan citra, klasifikasi pola, dan ekstraksi fitur dari data spasial dan citra udara. Sumber: Esri (ilustrasi deep learning & AI).

Tujuan dan manfaat: Otomatisasi klasifikasi artefak, deteksi fitur pada citra satelit, dan prediksi lokasi potensial situs dengan kecepatan tinggi.

Contoh literatur dan kasus: Studi seperti Orengo & Garcia-Molsosa (2021) menunjukkan keberhasilan ML/AI dalam mendeteksi fitur arkeologis dari citra dan data lapangan. Vincent et al. (2020) menunjukkan aplikasi ML untuk klasifikasi fragmen keramik.

Kontribusi terhadap arkeologi: Mempercepat proses identifikasi awal dan membantu fokus survei lapangan berbasis bukti.

e. 3D Modeling dan Virtual Reality (VR)

3D modeling mengolah data fotogrametri/LiDAR menjadi model tiga dimensi; sedangkan VR memungkinkan interaksi imersif dengan rekonstruksi tersebut.

Tujuan dan manfaat: Visualisasi rekonstruksi arsitektur dan simulasi aktivitas masa lalu; alat pendidikan dan konservasi digital.

Contoh literatur dan kasus: Dell'Unto et al. (2016) menjelaskan bagaimana 3D modeling digunakan untuk eksperimen virtual yang menguji hipotesis tentang penggunaan ruang.

Proyek seperti Virtual Angkor (studi lain) menunjukkan potensi edukatif dan diplomatik.



Gambar 8: Ilustrasi pemetaan 3D dan visualisasi permukaan sebagai representasi tiga dimensi dari data spasial, yang merupakan bagian dari pemodelan digital dan aplikasi realitas virtual untuk representasi arsitektur dan lanskap. Sumber: ilustrasi 3D mapping dari resources teknologi.

Kontribusi terhadap arkeologi: Menambah dimensi interpretatif dan menyediakan arsip visual berkualitas tinggi.

f. Arsip Digital

Arsip digital adalah repositori elektronik yang menyimpan data penelitian (laporan, foto, model 3D, metadata) dengan sistem indeks dan akses.

Tujuan dan manfaat: Menjamin keberlanjutan data, membuka akses lintas batas, mendukung replikasi penelitian, dan memfasilitasi kolaborasi.

Contoh literatur dan kasus: Repositori seperti *UK Archaeological Data Service* (ADS) dan *Open Context* (OC) menjadi referensi bagaimana arsip digital mendukung penelitian terbuka. Di Indonesia, inisiatif Repositori BRIN dan SIPN mulai dikembangkan untuk mengumpulkan data arkeologi nasional.

Kontribusi terhadap arkeologi: Memperluas jangkauan data dan memudahkan keterlibatan publik serta peneliti lintas disiplin.

Dari beberapa pemanfaatan teknologi di atas, terlihat perkembangan multidimensi metode untuk akuisisi data arkeologi, yaitu LiDAR dan UAV/fotogrametri, sedangkan untuk analisis, yaitu GIS dan ML/AI. Adapun untuk diseminasi dan konservasi, yaitu 3D/VR, dan arsip digital. Namun, ada celah yang konsisten dilaporkan: (1) minimnya publikasi komprehensif dari kawasan Asia Tenggara/Indonesia yang mengintegrasikan metode digital dengan partisipasi masyarakat lokal; (2) kesenjangan infrastruktur dan kapasitas SDM; (3) perlunya pedoman etika terkait kepemilikan dan akses data digital. Oleh karena itu, kajian ini memilih untuk menelaah studi-studi representatif yang mencerminkan perkembangan teknologi sekaligus tantangannya, dan menyoroti implikasinya bagi konteks Indonesia.

Dampak Positif dan Tantangan

Transformasi digital dalam arkeologi menawarkan banyak keunggulan penting yang mengubah paradigma arkeolog modern. Namun, ada juga tantangan struktural dan etika yang harus diamati secara kritis.

Dampak Positif

1. Efisiensi dan Presisi

Teknologi seperti LiDAR, UAV, dan fotogrametri memungkinkan pengujian cepat dengan akurasi tinggi dan bahkan sulit untuk mencapai Medan. Ini mengurangi risiko penelitian lapangan dan mempercepat proses dokumen (Chase et al., 2012).

2. Pelestarian Digital

Situs dan dokumen artefak dalam bentuk model 3D memastikan keberlanjutan informasi budaya, terutama di tempat-tempat yang terancam oleh bencana dan konflik. Data digital dapat disimpan dalam jangka panjang tanpa risiko kerusakan fisik (Bruno et al., 2010).

3. Peningkatan Akses Pengetahuan

Arkeologi digital memungkinkan publikasi online (daring), repositori terbuka, dan visualisasi pendidikan yang menjangkau publik yang lebih luas. Ini membuka jalan menuju arkeologi publik, partisipatif, dan transparan (Kansa & Kansa, 2013).

4. Kolaborasi Interdisipliner

Kerjasama antara arkeolog, ilmu komputer, insinyur geospasial dan seniman visual menciptakan pendekatan yang lebih kaya dan inovatif untuk warisan budaya.

Tantangan

1. Kesenjangan Teknologi dan SDM

Banyak institusi, terutama di negara berkembang, menghadapi keterbatasan perangkat keras, koneksi internet, serta tenaga ahli dalam mengoperasikan perangkat lunak dan peralatan digital (Rahardjo, 2022).

2. Etika dan Kepemilikan Data

Pertanyaan muncul terkait siapa yang berhak menyimpan, mengakses, dan mempublikasikan data digital arkeologi, terutama jika data tersebut berasal dari situs masyarakat adat atau wilayah sengketa budaya (Smith & Waterton, 2009).

3. *Over-Reliance* (Ketergantungan berlebihan) ada Teknologi dan Biaya Implementasi Awal

Ketergantungan yang terlalu besar pada teknologi digital kadang membuat aspek sosial dan budaya dari suatu situs terabaikan. Jika interpretasi hanya didasarkan pada model digital atau data spasial, hasilnya bisa bias karena tidak melibatkan pengetahuan dan konteks dari masyarakat lokal. Selain itu, biaya awal untuk menerapkan teknologi ini juga cukup tinggi. Misalnya, penggunaan

pemindai 3D atau *drone* (UAV) membutuhkan investasi besar, meskipun dalam jangka panjang teknologi tersebut terbukti efisien dan bermanfaat.

IMPLIKASI

Arkeologi digital berkembang secara multidimensi, mencakup proses akuisisi data, pemrosesan, hingga simulasi dan publikasi. Meski demikian, masih terdapat celah besar, terutama minimnya literatur dari kawasan Asia Tenggara (termasuk Indonesia) serta kurangnya integrasi antara metode digital dengan partisipasi masyarakat lokal. Hal ini menjadi dasar penting bagi bagian implikasi berikut. Secara akademik dan praktis, penerapan teknologi digital telah membawa perubahan mendasar dalam cara arkeologi dilakukan.

Pertama, **efisiensi waktu dan biaya** menjadi keuntungan utama. Teknologi seperti LiDAR dan UAV memungkinkan survei skala besar dilakukan dalam hitungan hari, yang sebelumnya mungkin memerlukan waktu berbulan-bulan dengan metode manual. Efisiensi ini tidak hanya meringankan beban tenaga kerja, tetapi juga mempercepat publikasi hasil penelitian.

Kedua, terjadi peningkatan signifikan dalam **akurasi data spasial**. GIS dan fotogrametri digital memberikan detail yang sulit dicapai dengan teknik tradisional. Dengan model 3D, misalnya, arkeolog dapat meneliti kembali bentuk struktur atau artefak secara detail tanpa harus selalu berada di lapangan. Hal ini mendukung penelitian lanjutan yang lebih presisi.

Ketiga, teknologi digital membuka **peluang eksplorasi situs yang sulit dijangkau**. Situs yang berada di hutan lebat, bawah laut, atau wilayah terpencil dapat didokumentasikan tanpa perlu ekspedisi besar-besaran. LiDAR, citra satelit, dan *drone* membuat peneliti dapat mengenali pola

permukiman atau struktur yang tersembunyi dari jarak jauh.

Keempat, terdapat dampak positif pada **konservasi digital**. Rekonstruksi virtual dan repositori daring memungkinkan informasi budaya tersimpan dengan baik, bahkan jika situs fisik rusak akibat bencana atau aktivitas manusia. Data digital juga dapat dibagikan secara terbuka sehingga publik ikut terlibat dalam pelestarian warisan budaya.

Namun, semua kemajuan ini belum merata, khususnya di Indonesia. Tantangan utama mencakup keterbatasan perangkat keras dan lunak, kapasitas sumber daya manusia dalam mengoperasikan teknologi, serta minimnya dukungan kebijakan institusi. Jika tantangan ini tidak segera diatasi, maka kesenjangan antara potensi teknologi digital dan penerapannya akan semakin lebar.

Oleh karena itu, implikasi penting dari kajian ini adalah perlunya strategi nasional yang terarah: memperkuat pendidikan dan pelatihan SDM, meningkatkan akses infrastruktur digital, serta mendorong kebijakan yang mendukung riset berbasis teknologi. Dengan langkah ini, arkeologi digital tidak hanya menjadi wacana, tetapi juga alat nyata dalam memahami dan melestarikan warisan budaya Indonesia.

KESIMPULAN

Transformasi teknologi digital telah merevolusi praktik arkeologi secara fundamental, baik dalam aspek metodologi, epistemologi, maupun sosial. Pemanfaatan teknologi seperti LiDAR, GIS, fotogrametri, UAV (*drone*), *machine learning*, dan *artificial intelligence* (AI) telah mempercepat proses akuisisi, analisis, serta desiminasi data arkeologi. Inovasi ini tidak hanya meningkatkan efisiensi dan akurasi dokumentasi, tetapi juga memperluas akses terhadap data arkeologis bagi peneliti maupun

publik, serta membuka ruang kolaborasi lintas disiplin.

Meski demikian, revolusi digital ini juga menimbulkan tantangan baru, terutama dalam hal kesenjangan infrastruktur dan kompetensi sumber daya manusia, etika representasi dan kepemilikan data, serta risiko reduksi makna sosial dan budaya akibat ketergantungan berlebihan pada mode digital. Di negara berkembang seperti Indonesia, tantangan ini semakin kompleks karena keterbatasan akses teknologi, belum meratanya pelatihan teknis, serta lemahnya kebijakan pendukung riset berbasis digital.

Oleh karena itu, studi ini menegaskan perlunya strategi nasional yang mencakup penguatan pendidikan dan pelatihan arkeologi digital, pengembangan infrastruktur teknologi dan repositori data terbuka, serta pembangunan kolaborasi interdisipliner yang melibatkan berbagai bidang keilmuan. Selain itu, perhatian khusus perlu diberikan pada wilayah timur Indonesia yang memiliki potensi arkeologis tinggi namun minim dokumentasi digital.

Secara keseluruhan arkeologi digital tidak hanya harus dipahami sebagai penerapan alat teknologi, tetapi juga sebagai peregeseran paradigma ilmiah yang menuntut adaptasi metodologis, kesadaran etis, dan keterlibatan sosial yang lebih luas. Dengan arah kebijakan dan kolaborasi yang tepat, digitalisasi dapat menjadi instrumen strategis untuk memperkuat pelestarian, penelitian, dan desiminasi warisan budaya Indonesia di era digital.

Rekomendasi Strategis

1. Pendidikan dan Pelatihan SDM

Perlu ada kurikulum yang mengintegrasikan digitalisasi dalam pendidikan arkeologi di tingkat universitas dan pelatihan teknis bagi peneliti dan pelestari cagar budaya.

2. Pengembangan Infrastruktur Teknologi

Pemerintah daerah dan lembaga riset perlu memfasilitasi perangkat pemetaan digital, server penyimpanan data, serta lisensi perangkat lunak *open source* seperti QGIS dan Agisoft.

3. Kolaborasi Interdisiplin

Perluasan kerja sama antara arkeolog dengan pakar IT, geoinformatika, antropologi, dan pemrograman untuk merancang sistem interpretasi dan visualisasi terpadu.

4. Fokus pada Wilayah Timur Indonesia

Kawasan seperti Maluku, Papua, dan NTT memiliki potensi arkeologis tinggi namun masih minim dokumentasi digital. Digitalisasi dapat menjadi solusi untuk tantangan geografis dan distribusi SDM.

5. Pembangunan Repositori Terbuka Nasional

Pemerintah dan BRIN dapat menginisiasi repositori arkeologi digital yang terbuka dan mudah diakses, untuk mendukung keterbukaan informasi dan edukasi publik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada dosen pembimbing Mata Kuliah Teknologi Digital dalam Arkeologi, yang telah memberikan arahan dan masukan selama proses perkuliahan. Penghargaan juga disampaikan kepada rekan-rekan di lingkungan akademik yang turut membantu dalam proses diskusi terkait dengan artikel ini. Artikel ini disusun sebagai bagian dari pengembangan kajian literatur dalam bidang arkeologi digital, dan penulis berharap dapat

memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu arkeologi di Indonesia.

REFERENSI

- Bevan, Andrew. 2012. *Spatial Methods for Analysing Large-scale Artefact Inventories*. *Antiquity*, 86(332): 492–5.
- Cortez, Rodrigo, et al. 2021. *The Use of UAV and LiDAR for Archaeological Surveying in Remote Tropical Environments*. *Remote Sensing*, 13(18): 3738.
- Dallas, Costis. 2015. *Digital Curation beyond the "Wild Frontier": A Pragmatic Approach*. *Archaeologia e Calcolatori*, 26: 133–144.
- De Reu, Jeroen, et al. 2013. *Applications of Photogrammetry in Surveying and Recording of Archaeological Sites: From 2D Recording to 3D Model*. *Journal of Archaeological Science*, 40(2): 1108–1121.
- Fernandez-Hernandez, Jesus, et al. 2015. *3D Laser Scanning for Documentation and Conservation of Heritage Sites*. *Journal of Cultural Heritage*, 16(6): 699–706.
- Huggett, Jeremy. 2012. *Lost in Information? Re-Assessing the Role of the Digital in Archaeology*. *Norwegian Archaeological Review*, 45(1): 39–54.
- Huggett, Jeremy. 2020. *Resilient Scholarship in the Digital Age*. *Journal of Computer Applications in Archaeology*, 3(1): 151–162.
- Kintigh, Keith W., et al. 2015. *Grand Challenges for Archaeology*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 111(3): 879–880.
- Morgan, Colleen L. dan Eve, Stuart. 2012. *DIY and Digital Archaeology: What Are You Doing to Participate?* *World Archaeology*, 44(4): 521–537.

- Opitz, Rachel, dan Herrmann, Jason. 2018. *Recent Trends and Long-Standing Problems in Archaeological Remote Sensing*. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 18: 448–458.
- Reilly, Paul. 2015. *Additive Archaeology: The Spirit of Virtual Archaeology Revisited*. In *Open Access Series in Archaeology*. Southampton: University of Southampton.
- Remondino, Fabio dan Campana, Stefano (eds.). 2014. *3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage: Theory and Best Practices*. Oxford: BAR International Series.
- Schmidt, Alke dan Wilson, Andrew T. 2021. *Ethics in Digital Archaeology: Challenges of Data Ownership and Representation. Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 21: e00187.
- Smith, Claire. 2017. *Archaeological Theory and Digital Practice*. *Journal of Archaeological Method and Theory*, 24(3): 950–966.
- Sullivan, Elaine dan Schneider, Thomas. 2020. *Archaeology in the Age of Big Data: Experiments in the Use of Artificial Intelligence. Advances in Archaeological Practice*, 8(2): 104–118.
- Wheatley, David dan Gillings, Mark. 2002. *Spatial Technology and Archaeology: The Archaeological Applications of GIS*. London: Taylor & Francis.
- Zubrow, Ezra B. W. 2006. *Digital Archaeology: A Historical Context*. In *Digital Archaeology*, ed. Thomas, Julian dan Chippindale, Christopher. London: Routledge.