

DIGITALISASI GUA PRASEJARAH BERGAMBAR DI KAWASAN KARST MAROS-PANGKEP: STUDI KASUS LEANG LAMBATORANG KABUPATEN MAROS

Imran Ilyas^{1,2}, Muhammad Nur³, Ilham Alimuddin⁴, Khadijah Thahir Muda⁵.

^{1,3,5}Departemen Arkeologi Universitas Hasanuddin, ⁴Departemen Teknik Geologi Universitas Hasanuddin, ²Pamong Budaya Ahl Pertama Balai Pelestarian Kebudayaan Wilayah XIX.

ilyasi19f@student.unhas.ac.id¹, nur110970@gmail.com³, ialimuddin@hotmail.com⁴, khadijah@unhas.ac.id⁵.

Abstract

The regions of Maros and Pangkep have a significant number of caves that have suffered considerable damage and require serious attention. To preserve our cultural heritage, it is crucial to undertake documentation, mapping, and modeling. Recording cultural heritage data through 3D visualization is of utmost importance. Furthermore, this practice also contributes to the conservation, rehabilitation, and maintenance of existing historic structures. In the current advancements of science and technology, the utilization of laser scanners has progressed rapidly. The data generated plays a crucial role as a backup to safeguard information in the event of damage, destruction, or loss of cultural heritage objects. The benefits of employing 3D visualization lie in its capability to create detailed and integrated models, resulting in a comprehensive database accessible to all stakeholders in need. The research methodology employed in this study is Block Bundle Adjustment. The objective of this research is to conduct mapping of the prehistoric cave Leang Lambatorang and create a 3D visualization using a laser scanner. The research findings comprise the 3D visualization of the data from Leang Lambatorang.

Keywords: Prehistoric Caves, Damage, Documentation, 3D Visualization, Laser scanner

PENDAHULAN

Basis data situs prasejarah di wilayah Kabupaten Maros dan Pangkep hingga saat ini belum dapat dirampungkan, mengingat banyaknya data yang harus disinkronisasi. Tahun 2021 jumlah situs prasejarah yang telah terdata di kawasan karst berjumlah 519 gua, yang terhimpun dari data BPCB SulSel, BALAR Sul-Sel, Puslit Arkenas, serta Laporan dari masyarakat. Situs prasejarah tersebut berjenis gua, ceruk, tebing, boulder (bongkahan batu yang berukuran besar), dan situs terbuka. Data gua terbaru berdasarkan hasil Eksplorasi dan Survei yang dilakukan oleh BPCB Sulsel 2 tahun terakhir yaitu tahun 2020 dan 2021 ditemukan sebanyak 167 gua, 84 gua diantaranya memiliki gambar prasejarah dan 83 situs memiliki potensi tinggalan lain berupa artefak yang tersebar dipermukaan maupun pelataran gua.

Berdasarkan hasil penelitian, jenis gambar ditemukan bervariasi yaitu, gambar fauna (Babi, Anoa, Ikan, hewan unggas), gambar

tangan/*hand stencils/hand print*, gambar (cap) kaki, gambar geometris, gambar manusia, hingga gambar yang membentuk konsep *therianthropes*. (Aubert, et al., 2019), gambar-gambar tersebut secara umum memiliki warna *pigmen* merah, hitam, cokelat, ungu, kuning, dan putih (Permana, 2005), (Rustan dkk., 2020). Semakin banyaknya situs yang ditemukan pada Kawasan Karts Maros-Pangkep, berimplikasi terhadap semakin beratnya tantangan dalam mempertahankan kelestarian situs prasejarah sebagai warisan budaya untuk generasi mendatang.

Variabel data pada situs gua prasejarah yang paling membutuhkan penanganan cukup serius adalah gambar gua, yang hingga saat ini belum ditemukan cara yang pasti untuk menahan laju kerusakan gambar tersebut. menurut (Huntley dkk., 2021), perubahan iklim yang disebabkan oleh pemanasan global menjadi ancaman serius bagi pelestarian gambar prasejarah di Sulawesi dan wilayah lain di Indonesia. Efek dari peningkatan suhu global dan perubahan cuaca ekstrem mengakibatkan

eksfoliasi permukaan batu yang menghancurkan lukisan gua Pleistosen. Tindakan mendesak diperlukan untuk melindungi warisan budaya yang penting ini.

Sebagai bentuk antisipasi sebelum ditemukannya formula dan metode dalam menahan laju kerusakan gambar gua, yang dapat dilakukan saat ini adalah melakukan pendataan total terhadap potensi gambar prasejarah secara detil, hasilnya merupakan basis data gua dan gambar prasejarah yang dapat diakses oleh para *stakeholder*. Oleh karena itu, pemutakhiran data di setiap gua prasejarah guna mengisi dan menyediakan data mutakhir pada setiap situs sangat diperlukan.

Gambar gua prasejarah (rockart) telah menjadi objek nyata dan menjadi tolok ukur peradaban manusia di Kawasan Karts Maros Pangkep, hal ini berdasar hasil dating gambar prasejarah di Leang Tedongnge yang diketahui telah ada sejak 45,5 ribu tahun yang lalu (Brumm dkk., 2021). Hasil penelitian tersebut sinkron dengan hasil penelitian sebelumnya di Leang Bulu Sipong 4 (Aubert dkk., 2019) dan di Leang Timpuseng (Aubert dkk., 2014). Terungkapnya usia gambar prasejarah pada gua di Kawasan Karst Maros-Pangkep merupakan sebuah kekayaan dan kebanggaan yang perlu tersampaikan dan dipertahankan dari generasi ke generasi.

Sebagaimana dalam ranah pelestarian cagar budaya, pendokumentasian merupakan aspek yang sangat penting untuk diperhatikan sebagai bagian dari langkah awal upaya pelestarian. Sebelum ditetapkan, cagar budaya terlebih dahulu didaftarkan yang dilengkapi dengan dokumentasi objek, sebagaimana disebutkan pasal 29 ayat (5) UU No. 11 Tahun 2010 tentang cagar budaya bahwa “Hasil pendaftaran sebagaimana yang dimaksud pada ayat (1), ayat (2), ayat (3), dan ayat (4) harus dilengkapi dengan deskripsi dan dokumentasinya”. Setelah ditetapkan sebagai cagar budaya, objek dimaksud dilestarikan dengan ketentuan bahwa “Pelestarian Cagar Budaya harus didukung oleh kegiatan pendokumentasian sebelum dilakukan kegiatan yang dapat menyebabkan terjadinya perubahan keaslian” (Pasal 53 ayat (4)). Bahkan dalam hal kegiatan yang bertujuan untuk merawat cagar

budaya, disyaratkan untuk terlebih dahulu melakukan pendokumentasian cagar budaya secara lengkap, sebagaimana diuraikan dalam pasal 76 ayat (2) UU No. 11 Tahun 2010.

Dengan demikian maka pendokumentasian diamanatkan oleh undang-undang untuk dilakukan sejak awal proses pendaftaran objek sebagai cagar budaya, hingga pada proses pelestarian, dan pengembangannya dapat memberi manfaat secara luas bagi masyarakat. Tidak dapat dipungkiri bahwa dokumentasi cagar budaya sangat luas cakupan, jenis, metode, atau tata cara pelaksanaan dan juga outputnya, namun hingga saat ini pendokumentasian dengan sistem perekaman 3 dimensi dengan laser scanner diakui sebagai metode pendokumentasian visual yang dapat melahirkan hasil paling lengkap dan paling akurat.

Perekaman 3 dimensi adalah perangkat yang digunakan untuk menganalisis objek atau lingkungan nyata dengan tujuan mengumpulkan data tentang bentuk dan mungkin juga penampilannya, termasuk warna. Data yang dikumpulkan oleh pemindai 3D dapat digunakan untuk membuat model tiga dimensi digital. Teknologi pemindaian laser 3D dikembangkan pada paruh terakhir abad ke-20 dengan tujuan untuk merekonstruksi permukaan objek dan lokasi dengan akurasi tinggi. Penggunaan teknologi ini memiliki banyak manfaat dalam bidang penelitian dan desain (Edl dkk., 2018).

Lebih lanjut dijelaskan oleh (Remondino & El-hakim, 2006) bahwa *laser scanner* mampu menghasilkan 3D dari point cloud dengan dengan akurasi geometris yang tinggi. Pelestarian data secara digital ini memungkinkan dilakukannya rekonstruksi jika terjadi kehancuran atau kemusnahan sekalipun. Output dari hasil perekaman 3D bisa lebih diakuratkan lagi dengan menempatkan objek 3D (secara digital) pada koordinat global yang fiks hasil pengukuran dengan menggunakan GPS Geodetik.

Metode pengukuran perangkat Terrestrial Laser Scanner dijelaskan memiliki kesamaan dengan metode dalam Fotogrametri rentang dekat (*close range photogrammetry*), dengan perbedaan terletak pada jarak yang dapat

direkam oleh perangkat tersebut. Pada perangkat Long Range Laser Scanner, kemampuan alat memungkinkan merekam obyek hingga jarak 1 km, dan menghasilkan data tiga dimensi (3D) dalam bentuk titik-titik awan (point clouds) (Brahmantara, 2016)

Kegiatan perekaman data dilaksanakan sebagai bagian dari tanggungjawab tugas dan fungsi Balai Pelestarian Kebudayaan Wilayah XIX yaitu, melaksanakan perlindungan, pengembangan, dan pemanfaatan. Perekaman dengan metode 3 dimensi merupakan bentuk mutakhir dari sistem perekaman digital dengan tingkat akurasi yang tinggi, baik secara visual, maupun dimensi/ukuran yang membedakannya dengan cara-cara konvensional. Metode ini menggunakan alat-alat optik modern yang merekam objek secara detail dan presisi dengan prinsip perekaman dengan laser, yaitu laser scanning. Visualisasi 3D sangat diperlukan dalam bidang pelestarian bertujuan untuk perekaman, dokumentasi dan keperluan rekonstruksi dalam kerangka perlindungan dan pemeliharaan benda cagar budaya. Dengan demikian objek cagar budaya yang dipindai akan menghasilkan dokumen visual digital yang sangat efisien untuk disimpan sebagai arsip, maupun sebagai data untuk diolah di berbagai kepentingan. Sebagai data arsip, dokumen yang dihasilkan sangat dapat diandalkan sebagai data standar yang baku karena kelengkapan dan akurasi.

Selain itu, kegiatan ini dibuat untuk mendukung kebijakan satu peta (One Map Policy) yang merupakan kebijakan Pemerintah Republik Indonesia dalam hal informasi geospasial. Kebijakan ini pertama kali dijalankan oleh Presiden Susilo Bambang Yudhoyono tahun 2010 dan masih berlanjut hingga masa kepemimpinan Presiden Joko Widodo. (Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2011 tentang Informasi Geospasial dan Peraturan Presiden (Perpres) Nomor 9 Tahun 2016 Tentang Percepatan Pelaksanaan Kebijakan Satu Peta pada tingkat ketelitian peta skala 1:50.000). Peta dan gambar yang dihasilkan pada kegiatan ini menggunakan satu referensi yaitu Jaring Kontrol Geodesi yang telah dibuat oleh Badan Informasi Geospasial (BIG).

Kegiatan perekaman didesain sedemikian rupa untuk melengkapi data situs prasejarah di wilayah karst Kabupaten Maros secara mutakhir, khususnya di Leang Lambatorang. Tersinkronnya semua data (tulisan dan gambar) dapat memberi informasi atau identitas sebuah situs yang menjadi sasaran kegiatan, tidak terpecah belah melainkan berada dalam satu berkas digital yang dapat diakses oleh berbagai kalangan yang berkepentingan.

Manfaat lain dari data hasil kegiatan ini dapat digunakan untuk merancang sebuah sistem informasi dan publikasi secara digital. Data situs secara 3 dimensi dapat diolah menjadi bentuk gambar digital virtual yang kemudian dapat disajikan secara luas ke masyarakat melalui media digital. Dengan demikian, masyarakat dapat menikmati dan mengapresiasi kekayaan cagar budaya masa lampau secara lebih mudah tanpa harus mendatangi lokasi. Dan hal ini merupakan alternative yang dapat ditawarkan ke masyarakat untuk mengurangi interaksi langsung dengan cagar budaya, yang diduga memberi kontribusi besar dalam hal mempercepat laju kerusakan lukisan dinding yang sangat rapuh.

Penelitian ini dimaksudkan untuk pembuatan datum situs dan datum gua yang akurat pada Leang Lambatorang yang telah terdata. Selain itu dilakukan pengumpulan data potensi yang terdapat dalam situs, dalam hal ini mengidentifikasi dan menghitung jumlah gambar yang terdapat dalam gua, dengan tujuan sebagai upaya untuk melengkapi kekurangan data yang selama ini digunakan.

METODE

Adapun tahapan metode yang dilakukan pertama kali adalah persiapan. Tahapan ini merupakan sebuah rangkaian kegiatan untuk merumuskan dan melakukan penyusunan rencana kegiatan, baik administrasi, ketenagaan, peralatan/perlengkapan, dan jadwal kegiatan, dalam tahapan ini pula administrasi dan keuangan diselesaikan dengan menyiapkan dan mengedarkan surat-surat dan administrasi lain terkait rencana kegiatan. Pembentukan tim dan melakukan rapat persiapan, membagi tugas dan tanggung jawab, serta menyiapkan

peralatan/perlengkapan kegiatan, termasuk transportasi dan akomodasi di lapangan.

Kemudian pelaksanaan kegiatan di lapangan. Pada tahapan ini yang dilakukan pertama kali adalah melaksanakan pertemuan dengan tim di lapangan guna menyusun teknis kegiatan dan pembagian tim. Kemudian melakukan survei dan pemasangan patok dan datum di lokasi yang telah disetujui ketika pertemuan. Setelah itu melakukan pengukuran patok dengan GPS Geodetik. Lalu Pengukuran *total station* (TS) Datum Situs dari *Benchmark* (BM) dan *Backside* (BS) dan melakukan pemindaian 3 dimensi dengan Leica BLK 360. Dan tentunya melakukan observasi dan identifikasi gambar yang ada di gua. Proses terakhir adalah pengolahan data dan sinkronisasi data. Masing-masing tim melakukan tugasnya sesuai yang disepakati saat rapat bersama.

HASIL DAN PEMBAHASAN

• Leang Lambatorang

Leang Lambatorang merupakan situs arkeologi yang berstatus cagar budaya berdasarkan surat keputusan Bupati Kabupaten Maros bernomor 976/KPTS/430/II/2019. Situs berupa gua prasejarah ini terletak pada titik koordinat $04^{\circ}58'16''$ LS dan $119^{\circ}39'58''$ BT, pada ketinggian 27.5 mdpl. Secara administratif, gua ini terletak di wilayah Kampung Lambatorang, Lingkungan Leang Leang, Kelurahan Leang Leang, Kecamatan Bantimurung, Kabupaten Maros, Sulawesi Selatan, Indonesia. Tinggalan arkeologi yang terdapat di gua ini adalah berupa lukisan pada dinding gua, artefak batu serpih atau alat batu microlith, dan sisa-sisa kulit kerang. Gua ini diyakini merupakan gua hunian yang sudah berlangsung lebih dari 40 ribu tahun yang lalu. Di gua ini terdapat seni lukisan cadas bergambar atau bermotif binatang, yaitu jenis anjing berjumlah tiga dan kuda berjumlah tiga. Berdasarkan struktur geologisnya, Gua Lambatorang termasuk gua kekar tiang

Lingkungan situs yang telah terpagar kawat tahun 2020 dan terdapat papan peringatan baru. Letak gua yang lebih cenderung berbentuk ceruk, bersebelahan dengan sumber mata air dan pesawahan

penduduk. Pelataran gua terbagi menjadi dua bagian dengan bagian dasar berupa lantai tanah dan terap atas merupakan lantai batu. Ukuran gua cukup besar dengan lebar mencapai sekitar 30 meter, sedangkan kedalaman ceruk dari ujung batu luar kedalam sekitar 10 meter. Terdapat 74 gambar cadas dengan rincian 64 cap tangan dan 10 bermotif geometris.



Gambar 1. Peta Keletakan Titik Ikat dan Gambar gua Leang Lambatorang

• Pemetaan dan Perekaman

Pengukuran gambar cadas di Leang Lambatorang 1 dilaksanakan selama dua hari, pada hari pertama meliputi pemindahan nilai koordinat ke patok BS dan BM, pembuatan titik GCP, dan pengukuran nilai koordinat gambar cadas. Perekaman data pada Leang Lambatorang 1 dapat dioptimalkan selesai pada hari pertama, namun setelah pengolahan data ditemukan satu buah gambar cadas yang luput dari proses perekaman, sehingga proses perekaman dilanjutkan keesokan harinya.

Pengukuran nilai koordinat dilakukan menggunakan pesawat Total Station Leica TS16. Proses perekaman dimulai dengan memindahkan nilai koordinat dari koordinat sementara ke patok BM situs. Patok BM terletak di sisi timur gerbang dengan nilai koordinat $x=9449984.678$, $y=795811.461$, dan $z=24.627$ (UTM Zona 50S dengan satuan meter). Langkah selanjutnya yaitu menentukan titik BS, titik BS harus ditempatkan berjauhan dengan titik BM namun masih dalam jangkauan jarak pandang agar dapat saling mengikat. Selain itu keletakan titik BS juga harus mengikuti orientasi situs agar dapat dijadikan

Tab

referensi koordinat di seluruh area situs. Atas beberapa pertimbangan tersebut titik BS ditempatkan pada koordinat $x= 9449967.558$, $y= 795802.046$, dan $z= 22.775$. Titik BS ditempatkan di arah selatan situs, atau jika dilihat dari BM berjarak 19.5 meter dengan orientasi $208,54^\circ$ ke arah barat daya. Titik BM berupa baut besi yang di bor di atas bolder.

Penggunaan patok BM dan titik BS sebagai titik ikat tidak cukup untuk dilakukan pengukuran pada seluruh area situs, terutama area yang berada di tingkat atas, relung, dan langit-langit. Oleh karena itu dibuat tiga titik GCP (Ground Control Point) berupa paku yang di bor di atas gamping pada beberapa lokasi. GCP 1 terletak 6,62 m ke arah timur dari patok BM, GCP 2 terletak 9,03 m ke arah selatan dari patok BM, dan GCP 3 terletak 8,43 m ke arah tenggara ($135,83^\circ$) dari titik BS. Untuk memudahkan pelacakan temuan gambar cadas, dibuat dua titik bantu dengan kode TB 1 dan TB 2. Kedua titik bantu itu tidak memiliki penanda pada permukaan bumi, keletakan kedua titik bantu tersebut dapat dilihat pada table berikut.

Titik	x	y	z
BM	9449984.678000	795811.461000	24.627000
BS	9449967.558000	795802.046000	22.775000
GCP1	9449984.481958	795818.084676	27.562786
GCP2	9449975.824811	795809.677981	27.910639
GCP3	9449961.635136	795808.058107	24.961297
TB1	9449984.316006	795815.332768	27.377027
TB2	9449986.894799	795815.962786	27.045487

Proses pengukuran dimulai dari sisi utara ke sisi selatan. Selama proses perekaman telah ditemukan 74 gambar cadas dengan rincian 64 cap tangan dan 10 bermotif geometris. Gambar cadas yang direkam memiliki posisi yang tersebar baik secara horizontal maupun vertical. Secara horizontal gambar cadas tersebut terletak di atap, relung, dan dinding ceruk dengan ketinggian bervariasi antara 26 sampai dengan 37 mdpl, secara vertical gambar cadas terkonsentrasi di sisi utara dan selatan. Untuk menjangkau semua gambar cadas pesawat Total Station harus dipindahkan ke tujuh titik yang berbeda.

Pelaksanaan pengukuran dan perekaman data gambar di Leang Lambatorang ini dilakukan selama 2 hari, yaitu tanggal 31 Agustus hingga 1 September 2021. Pengukuran lukisan sepenuhnya direkam satu persatu dengan menggunakan instrumen TS (totalstation). Terdapat patok DP yang terpasang permanen dalam lingkungan situs gua menjadi acuan koordinat gua. Dari titik DP inilah kemudian ditransfer ke beberapa DP_BS gua untuk menjangkau dan merekam gambar-gambar di celah dinding gua. Output dari pengukuran ini merupakan koordinat x, y dan elevasi (z) dari setiap lukisan gua yang telah diidentifikasi/telah diberi label.



Gambar 2. Pemasangan pesawat TS di pelataran Leang Lambatorang. Sumber BPK XIX 2021

Secara umum, terdapat tiga titik sebaran gambar dinding gua, yakni panel sisi kanan dengan gambar cap tangan nomor 1 terletak paling luar di langit-langit rendah. Kemudian gambar cap tangan lainnya mulai nomor 2 sampai nomor 33 terletak di rongga sebelah gambar nomor 1. Gambar-gambar ini terletak pada tiga panel berbeda. Panel nomor 1 merupakan media yang kemungkinan besar banyak ditempatkan gambar namun mengalami kerusakan. Pigmen berwarna merah mendominasi bidang gambar dengan kondisi terkelupas. Gambar cap tangan yang teridentifikasi yakni nomor 2 hingga nomor 10 dan terdapat satu gambar geometrik berupa garis merah lurus. Kemudian gambar cap tangan nomor 11, 12, 13 dan nomor 14 pada bidang tersendiri di relung sempit pada panel kedua. Gambar berikutnya nomor 15 sampai nomor 33 terletak pada relung yang berbeda

dengan posisi lebih tinggi dari relung sebelumnya.

Adapun gambar tersendiri nomor 34 terletak pada langit-langit di celah sempit di atas bongkahan panel kedua. Kemudian posisi gambar-gambar lainnya yakni di sisi kiri gua pada media dinding yang miring hingga menyentuh bagian dasar bukit karst. Kelihatan sangat banyak pigmen merah dan hitam bercampur pada media ini, bahkan bercampur dengan gambar vandalisme baru yang sulit dikenali. Kondisi media gambar yang menghadap ke arah barat sehingga terpapar cahaya matahari secara langsung mulai siang hingga sore hari. Gambar cap tangan bercampur dengan gambar lainnya baik geometris maupun pigmen bekas gambar sehingga tidak diketahui jenis gambarnya.



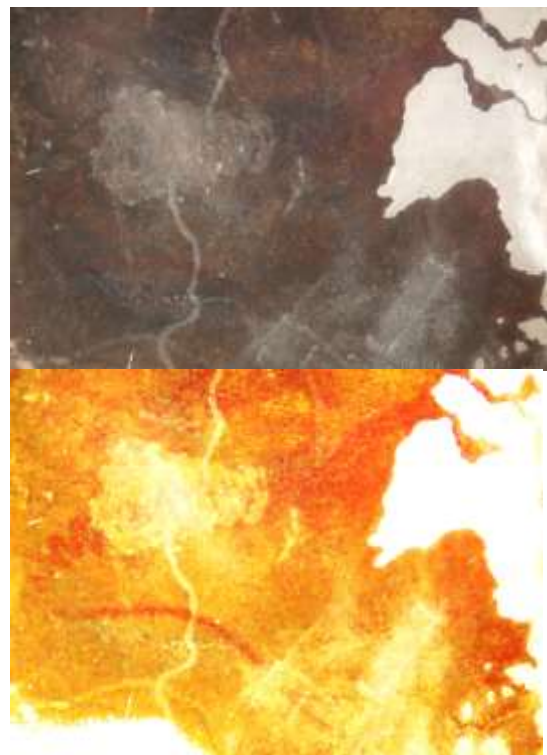
Gambar 3. Proses perpindahan pesawat dari DP ke dalam Leang Lambatorang 2

Untuk hari pertama dengan sasaran lokasi Leang Lambatorang 1, jenis pekerjaan yang dilakukan adalah melakukan registrasi, pendokumentasian, identifikasi lukisan dan pengukuran titik-titik lukisan dengan TS sebanyak 34 buah lukisan dengan no. register 1 – 34.

Hari kedua kegiatan identifikasi objek gambar dinding gua di Leang Lambatorang 1 merupakan lanjutan dari hari pertama. Identifikasi gambar dinding gua yang dilanjutkan dari nomor 35 dengan kondisi yang sebagian besar mengalami kerusakan pengelupasan. Bidang penempatan gambar dinding ini terletak pada titik yang terpapar langsung dengan cahaya matahari terutama pada waktu sore hari. Pada akhirnya kombinasi antara kelembaban, pencahayaan secara langsung serta adanya sentuhan manusia akan

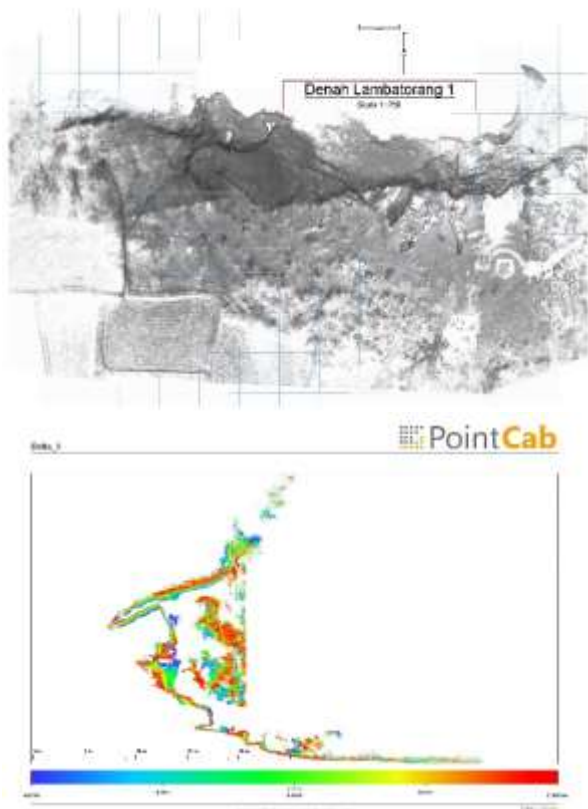
mempercepat kerusakan objek gambar-gambar tersebut.

Pada salah satu bidang dinding karst, terlihat gambar berukuran cukup besar dengan garis tebal warna merah. Kondisinya sangat buram karena kerusakan. Kerusakan yang terlihat seperti pengelupasan kulit karst, tumbuhnya sarang rayap tanah serta vandalisme coretan-coretan. Juga terlihat coretan ataupun gambar yang ditumpuk berwarna hitam, sehingga sangat sulit mengidentifikasi gambar merah ini dan hanya garis yang menyerupai mata gergaji ataupun jengger ayam. Bidang gambar ini terletak hampir di dasar sehingga sangat mudah untuk dijangkau di sisi selatan.



Gambar 4. Salah satu jenis gambar dengan garis warna merah ukuran besar namun sebagian besar terkelupas, menyerupai jengger ayam atau mata gergaji

Pekerjaan selanjutnya adalah melanjutkan registrasi gambar-gambar kemudian dilakukan dokumentasi, mengidentifikasi jenis lukisan dan plotting gambar-gambar tersebut menggunakan pesawat TS mulai nomor 35 – 74. Secara keseluruhan, jumlah gambar yang teridentifikasi adalah 74 buah gambar. Gambar cap tangan sebanyak 63, dan gambar geometri sebanyak 11 buah.



Gambar 5. Salah satu output pemindaian 3D di Leang Lambatorang

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah penyajian informasi arkeologi dengan memanfaatkan data spasial dalam bentuk model 3D. Perekaman dengan metode 3 D merupakan bentuk mutakhir dari sistem perekaman digital dengan tingkat akurasi yang tinggi, baik secara visual, maupun dimensi/ukuran yang membedakannya dengan cara-cara konvensional. Metode ini menggunakan alat-alat optik modern yang merekam objek secara detail dan presisi dengan prinsip perekaman dengan laser, yaitu laser scanning. Dengan demikian objek cagar budaya yang dipindai akan menghasilkan dokumen visual digital yang sangat efisien untuk disimpan sebagai arsip, maupun sebagai data untuk diolah di berbagai kepentingan. Sebagai data arsip, dokumen yang dihasilkan sangat dapat diandalkan sebagai data standar yang baku karena kelengkapan dan akurasinya.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (2021). Pemetaan dan Perekaman Sebaran Terkini Gua-gua Prasejarah. Balai Pelestarian Cagar Budaya Provinsi Sulawesi Selatan.
- Anonim. (2020). Laporan Kegiatan Eksplorasi dan Survei Gua-Gua Baru di Kawasan Karst Maros-Pangkep. Balai Pelestarian Cagar Budaya Provinsi Sulawesi Selatan.
- Anonim. (2021). Laporan Kegiatan Eksplorasi dan Survei Gua-Gua Baru di Kawasan Karst Maros-Pangkep. Balai Pelestarian Cagar Budaya Provinsi Sulawesi Selatan.
- Aubert, M., Brumm, A., Ramli, M., Sutikna, T., Saptomo, E. W., Hakim, B., Morwood, M. J., Van Den Bergh, G. D., Kinsley, L., & Dosseto, A. (2014). Pleistocene cave art from Sulawesi, Indonesia. *Nature*, 514(7521).
<https://doi.org/10.1038/nature13422>
- Aubert, M., Lebe, R., Oktaviana, A. A., Tang, M., Burhan, B., Hamrullah, Jusdi, A., Abdullah, Hakim, B., Zhao, J., Geria, I. M., Sulistyarto, P. H., Sardi, R., & Brumm, A. (2019). Earliest hunting scene in prehistoric art. *Nature*, 576(7787), 442–445.
- Brahmantara, B. (2016). Pemanfaatan Teknologi Terrestrial Laser Scanner Untuk Perekaman Data dan Pendokumentasian Tiga Dimensi (3D) Lukisan Cadas Pada Gua-Gua Prasejarah di Indonesia. *Jurnal Konservasi Cagar Budaya*, 10(1).
- Brumm, A., Oktaviana, A. A., Burhan, B., Hakim, B., Lebe, R., Zhao, J. X., Sulistyarto, P. H., Ririmasse, M., Adhityatama, S., Sumantri, I., & Aubert, M. (2021). Oldest cave art found in Sulawesi. *Science Advances*, 7(3).
- Edl, M., Mizerák, M., & Trojan, J. (2018). 3D LASER SCANNERS: HISTORY AND APPLICATIONS. *Acta Simulatio*, 4(4), 1–5.
- Huntley, J., Aubert, M., Oktaviana, A. A., Lebe, R., Hakim, B., Burhan, B., Akso, L. M., Geria, I. M., Ramli, M., Siagian, L., Brand, H. E. A., & Brumm, A. (2021). The effects

- of climate change on the Pleistocene rock art of Sulawesi. *Scientific Reports*, 11(1).
- Permana, R. C. E. (2005). Bentuk gambar telapak tangan pada gua-gua Prasejarah di Kabupaten Pangkajene Kepulauan, Sulawesi Selatan. *Wacana, Journal of the Humanities of Indonesia*, 7(2).
- Remondino, F., & El-hakim, S. (2006). Image-based 3D modelling: A review. Dalam *Photogrammetric Record* (Vol. 21, Nomor 115).
- Rustan, Sumantri, I., Muda, K. T., Nur, M., & Mulyadi, Y. (2020). Measuring the damage rate of prehistoric cave images: a case study in the Maros-Pangkep karst area South Sulawesi Province, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 575(1), 012075.