

**MENGUKUR LAJU KEROSAKAN GAMBAR GUA PRASEJARAH
STUDI KASUS DI GUA-GUA PRASEJARAH KAWASAN KARST
MAROS-PANGKEP PROVINSI SULAWESI SELATAN,
INDONESIA**

*(MEASURING THE RATE OF CORRUPTION CASE STUDY PREHISTORIC
CAVE DRAWINGS IN THE KARST REGION MAROS-PANGKEP
SOUTHERN PROVINCE, INDONESIA)*

Rustan, Akin Duli & Muhammad Nur

Abstrak

Kerosakan pada gambar-gambar gua prasejarah, sebagaimana benda budaya lainnya, merupakan hal yang niscaya. Pendapat ini diterima secara luas di kalangan peneliti mahupun pemerhati budaya prasejarah di Indonesia. Terlebih lagi untuk gambar-gambar yang berada di gua-gua karst dengan media melukis berupa permukaan batuan kapur yang memiliki sifat yang dinamis. Siklus hidup jenis batuan ini dipengaruhi oleh proses alam, terutama oleh faktor air berupa pelarutan dan sedimentasi. Selain itu, matahari, fluktuasi suhu, dan angin juga turut mempercepat laju pelapukan yang banyak menimbulkan perubahan struktur batuan baik secara menyeluruh dan massif, mahupun secara parsial. Keyakinan terjadinya kerosakan pada gambar gua prasejarah di Kawasan Karst Maros-Pangkep telah lama digaungkan oleh peneliti dan pelestari, tetapi sangat sedikit daripada kalangan tersebut yang dapat membuktikan bagaimana proses kerosakan terjadi, bahkan untuk membuktikan secepat apa laju kerosakan tersebut. Proses dan laju kerosakan penting dipahami dalam rangka membangun sistem penanganan untuk tujuan konservasi. Identifikasi untuk memahami proses terjadinya kerosakan memerlukan waktu lama dan pemahaman komprehensif tentang sifat batuan, bahan pigmen, klimatologi, dan karakteristik lingkungan karst. Namun demikian, perkembangan kondisi gambar dapat diukur dengan kaedah yang lebih sederhana untuk mengetahui kecepatan laju kerosakan. Makalah ini menawarkan kaedah yang dapat diterapkan pada kasus-kasus kerosakan gambar gua prasejarah agar dapat diketahui perubahan yang terjadi, khususnya volume kerosakan. Kaedah ini bertumpu pada pengukuran secara akurat dan pemotretan gambar secara terkendali. Beberapa titik pada panel gambar ditandai secara virtual dengan koordinat (bersifat global) dengan alat Total Station agar dapat diidentifikasi secara pasti posisinya pada foto. Foto-foto hasil pemotretan diolah dengan kaedah fotogrametri untuk mendapatkan citra digital berdimensi 3 (3D). Citra 3D dan 2D daripada gambar gua tersebut dapat diidentifikasi dan diukur volume kerosakan. Proses ini diulang secara periodik untuk mengetahui perubahan kondisi kerosakan.

Kata kunci: Kerosakan, gambar, koordinat, fotogrametri, periodik

Abstract

Damage to the prehistoric cave drawings, as well as other cultural objects, it is inevitable. This opinion was widely accepted among researchers and observers of prehistoric culture in Indonesia. Moreover, the pictures are in the karst caves with painting media such as limestone surface that has a dynamic nature. The life cycle of this type of rock is influenced by natural processes, especially by water factors such as solubility and sedimentation. In addition, the sun, temperature fluctuations, and winds also accelerate the weathering rate which has largely resulted in the change of rock structure both thoroughly and massively, or partially. The belief in the destruction of prehistoric cave images in Karst Maros-Pangkep Area has long been raised by researchers and conservators, but very few of them can prove how the damage process occurs, even to prove as soon as the speed of the damage. The process and speed of damage are important to be understood in order to build a system of conservation for conservation purposes. Identification to understand the process of occurrence of damage takes a long time and a comprehensive understanding of the properties of rock, pigment, climatology, and characteristics of the karst environment. However, the development of image conditions can be measured by a simpler method to determine the speed of damage. This paper offers methods that can be applied to cases of damage to the prehistoric cave image to be aware of the changes that occur, particularly the volume of the damage. This method focuses on accurate measurements and controlled image shooting. Some points in the image panel are marked virtual with coordinates (global) with the Total Station tool so that their photos can be identified in a definite position. The photos captured and processed by the photogrammetric method to obtain 3-dimensional digital image (3D). 3D and 2D imagery of the cave image can be identified and measured damage volume. This process is repeated periodically to find out the changes in damage conditions.

Keywords: *Damage, image, coordinate, photogrammetry, periodic*

PENGENALAN

MASALAH PELESTARIAN GAMBAR PRASEJARAH

Gambar dinding gua prasejarah (*Rock art/rock painting*) adalah temuan arkeologis yang khas dan unik kerana bentuk dan sifatnya. Daripadapada sisi bentuk, ekspresi senimannya menunjukkan bentuk-bentuk yang terkait langsung pada diri mereka dan lingkungannya, misalnya bahagian tubuh seperti telapak tangan, kaki, ataupun profil tubuhnya sendiri. Selain itu, berbagai jenis warna seringkali digunakan untuk menyatakan ekspresinya, seperti merah, hitam, ungu, kuning, dan putih. Sedangkan daripada sifatnya, menjadi khusus kerana tingkat kerentanan terhadap kerosakan, tetapi terbukti bertahan hingga 40,000 tahun setelah pembuatannya. Bentuk-bentuk yang ditemui saat ini merupakan hasil daripada proses alam dan budaya, sebagaimana benda-benda lainnya yang memiliki sifat yang mudah rosak.

Di Kawasan Karst Maros-Pangkep Sulawesi Selatan (119°31'-119°59' BT dan 4°45'-5°10'LS) seluas ± 46.200 Ha (Ahmad & Siady 2016), terdapat 310 situs gua prasejarah dan 242 gua di antaranya ditemukan gambar prasejarah (Aubert 2014). Berbagai bentuk gambar telah diidentifikasi, antara lain telapak tangan, telapak kaki, profil manusia, babi rusa, babi Sulawesi, anoa, ikan, burung, dan bentuk geometris. Gambar-gambar tersebut menggunakan berbagai jenis warna seperti merah muda, merah tua, ungu, hitam, dan kuning. Secara umum, sebahagian besar gambar-gambar tersebut mengalami kerosakan. Berdasarkan kajian pelestarian yang dilakukan oleh Balai Pelestarian Cagar Sulawesi Selatan Tahun 2015 pada 5 gua sampel, ditemukan fakta bahawa daripada 340 gambar yang diidentifikasi, 92.7 % di antaranya mengalami kerosakan. 12 jenis kerosakan yang diidentifikasi, didominasi oleh pengelupasan (89.1 %), dan pertumbuhan ganggang (30.6 %).

Kondisi tersebut seringkali dikaitkan dengan aktivitas alam, ditambah dengan peningkatan aktivitas manusia di lingkungan karst dan sekitarnya. Perubahan iklim global, suhu bumi yang terus mengalami peningkatan yang lebih cepat daripada sebelumnya diduga menjadi pemicu terjadinya perubahan sistem di dalam lingkungan karst yang rentan. Peningkatan jumlah penduduk yang memerlukan lahan untuk pemukiman dan pertanian turut mempercepat perubahan kondisi lingkungan. Selain itu, batu kapur sebagai lanskap utama lingkungan karst, dipandang sebagai komoditas ekonomi yang prospeknya cukup menjanjikan untuk peningkatan kesejahteraan masyarakat. Tambang batu untuk bangunan, semen, dan marmer merupakan isu lingkungan yang hangat pada 20 tahun terakhir di kawasan.

Aktivitas penambangan selalu diikuti dengan perubahan sosial, aktivitas keseharian masyarakat sekitar turut terpengaruh, aktivitas industri, peningkatan alat-alat mekanis, dan tentu saja polusi dan limbah. Fakta-fakta tersebut identik dengan penyebab terjadinya kerusakan lingkungan, terlebih lagi lingkungan karst dikenal sebagai sebuah sistem lingkungan yang rapuh. Ketidakstabilan pada satu bagian akan menjadi pemicu kerusakan pada bagian lain, dan hal tersebut akan berdampak sistemik pada lingkungan makro. Sebahagian kalangan menganggap bahwa kondisi gambar-gambar prasejarah di gua-gua yang berada dalam lingkungan karst ini sangat dipengaruhi oleh sistem lingkungan yang rapuh ini. Disimpulkan secara gamblang bahwa laju kerusakan pada gambar menjadi sangat cepat sejak kehadiran tambang dan industri batu kapur di kawasan pada beberapa dekade terakhir (Permana 2015).

Namun demikian, sangat sulit untuk membuktikan terjadinya percepatan kerusakan gambar-gambar tersebut sejak aktivitas tambang dan industri merambah kawasan ini. Terjadinya peningkatan laju kerusakan harus didasarkan pada hasil pengukuran yang pasti, yaitu pertambahan volume kerusakan pada setiap waktu tertentu. Pengamatan kasar terhadap gambar-gambar dalam jumlah yang banyak yang tidak disertai dengan rakaman dan pengukuran yang baik, tidak dapat dijadikan sebagai bukti terjadinya percepatan kerusakan atau tidak. Bahkan pengamatan yang disertai dengan perakaman yang baik pun tidak cukup, sebab hasil pengamatan dan perakaman kerusakan harus terukur dan dilakukan secara rutin, agar dapat diperoleh pertambahan kerusakan secara pasti pada setiap pengamatan dan perakaman.

Proses pengamatan dan perakaman yang sistematis seperti itu belum pernah dilakukan di kawasan ini. Pada umumnya pernyataan peningkatan laju kerusakan pada gambar hanya didasarkan pada pengamatan yang semena-mena, dan tidak dapat dibuktikan secara nyata. Padahal pengukuran volume kerusakan secara rutin terhadap objek gambar dapat menjadi bukti yang autentik akan ada atau tidaknya percepatan kerusakan. Pengukuran dapat dilakukan secara langsung pada objek, misalnya dengan mencetak di atas lembaran plastik, tetapi kaedah ini tidak aman untuk kelestarian objek. Sentuhan terhadap objek secara intens justru dapat menjadi penyebab terjadinya kerusakan, seperti pengelupasan, peningkatan kelembapan, atau peningkatan kehausan.

Untuk pembuktian laju kerusakan gambar tersebut diperlukan kaedah atau cara-cara yang lebih aman agar pengukuran dan perakaman yang dilakukan tidak menimbulkan efek destruktif terhadap kelestarian objek. Kaedah pengukuran tanpa sentuhan langsung dapat menjadi pertimbangan yang diajukan dalam tulisan ini. Prinsipnya adalah pengukuran dengan menggunakan alat-alat optik dan alat ukur digital. Mengidentifikasi gambar berdasarkan keletakan dapat diperoleh secara langsung setelah pengukuran lapangan, tetapi ukuran volume gambar dapat diperoleh setelah citra optik digital telah dilakukan pengolahan.

KAEDAH PENGUKURAN LAJU KEROSAKAN

Jumlah situs gua (242) yang mengandung gambar terlalu banyak untuk dilakukan pengamatan dan pengukuran secara total, demikian pula dengan jumlah gambar di setiap gua yang sangat bervariasi. Untuk itu dalam melakukan pengamatan rutin tersebut perlu dilakukan persampelan, memilih gua dan memilih objek gambar yang diamati. Pemilihan gua sebagai sampel sangat tergantung pada tujuan pengamatan yang didasarkan pada kondisi lingkungan sekitar situs yang memperlihatkan faktor-faktor yang diduga kuat sebagai faktor penyebab kerusakan. Demikian pula dengan

pemilihan panel atau objek yang ingin diamati, tetap mempertimbangkan posisi tepat untuk tujuan pengamatan.

Penentuan Sampel

Pemilihan sampel pengamatan sangat menentukan untuk pembuktian adanya korelasi faktor yang diduga sebagai penyebab terjadinya kerusakan, dan kecepatan laju kerusakan. Kondisi lingkungan tertentu harus diyakini memberi pengaruh terhadap kondisi kerusakan gambar pada gua sampel. Misalnya lingkungan pemukiman yang padat diyakini memberikan kontribusi besar pada kondisi kerusakan gambar di dalam gua tertentu, dipilih untuk membuktikan bahwa kepadatan pemukiman memberi dampak pada kerusakan dan percepatan laju kerusakan pada gambar gua prasejarah. Selain pertimbangan tujuan pembuktian, beberapa pertimbangan lain yang penting untuk diperhatikan dalam menentukan sampel gua adalah:

- Aksesibilitas, adalah kemudahan dalam mencapai lokasi sampel, terkait dengan jarak tempuh, fasilitas penunjang, dan tingkat kesulitan.
- Kondisi ruang gua, adalah situasi ruang gua yang memungkinkan tim pengamat melakukan aktivitas dengan aman, baik untuk pengamat, peralatan, mahupun untuk gua dan gambar di dalamnya.
- Jumlah dan intensitas pengunjung, adalah seberapa banyak dan sering pengunjung mendatangi gua. Hal ini sangat terkait dengan tujuan pengamatan, dan faktor yang diduga sebagai penyebab kerusakan (salah satunya adalah pengunjung).
- Ketersediaan titik kontrol, adalah titik permanen untuk memperoleh definisi posisi koordinat dan ketinggian, biasanya digunakan titik jaring kontrol geodetik yang disediakan oleh Badan Informasi Geospasial.

Setelah situs ditentukan, maka langkah berikutnya adalah menentukan objek pengamatan, dapat berupa panel (yang terdiri atas beberapa gambar), mahupun satu objek gambar. Sebagaimana persyaratan pemilihan gua, dalam memilih objek juga sangat tergantung dengan faktor diduga penentu kerusakan, antara lain berupa:

- Keletakan, yaitu posisi penempatan gambar dalam gua, seperti dinding, langit-langit, relung, stalaktit, atau bahagian gua lainnya
- Pencahayaan, yaitu intensitas cahaya alam yang menerpa atau memapar gambar, baik cahaya langsung mahupun cahaya yang tidak langsung, atau bahkan tidak mendapat paparan cahaya sama sekali
- Terpaan angin, yaitu tingkat paparan angin ke permukaan gambar, baik secara langsung, tidak langsung, ataupun tidak terpapar sama sekali
- Aliran/resapan air, yaitu intensitas air yang mempengaruhi gambar, baik keberadaan air berupa aliran, peresapan, ataupun penetesan secara permanen mahupun musiman
- Keterjangkauan, yaitu posisi gambar dijangkau oleh pengunjung atau tidak
- Bentuk permukaan media, yaitu bentuk permukaan batu dimana gambar ditempatkan, semakin rata permukaan semakin mudah dalam perakaman dan analisis
- Beberapa pertimbangan lain yang lebih khusus, dan ditentukan oleh tujuan pengamatan.

Objek sampel yang terpilih kemudian ditandai secara virtual untuk menghindari daripada kontak atau intervensi langsung secara fisik ke objek dan permukaan batu kapur sebagai media gambar melekat. Titik-titik virtual ini akan diidentifikasi keletakannya dengan alat ukur yang standar, dan dapat ditemukan dengan mudah ketika objek diperlukan (*stake out*).

Penentuan posisi mutlak

Gambar sampel penting untuk ditentukan posisinya secara global untuk menghindari daripada terjadinya disposisi titik-titik pengamatan pada objek. Untuk itu, titik permanen dengan nilai koordinat horizontal (x, y), dan vertikal/elevasi (z) diperlukan sebagai pangkalan pengukuran. Titik

ini dikenal dengan Datum Point (DP) yang ditempatkan di sekitar atau di dalam areal situs. Posisi globalnya dapat ditransfer dari titik datum geodetik terdekat (Jaringan Kontrol Geodetik Nasional) yang disediakan oleh Badan Informasi Geospasial. Untuk kawasan Gua-Gua Prasejarah Karst Maros Pangkep, referensi JKGN yang digunakan adalah pilar TTG.2010.0092 dengan koordinat $5^{\circ} 1' 42,89880''$ LS dan $119^{\circ} 34' 13,41840''$ BT dengan elevasi 8,908 m di atas permukaan laut. Daripada titik JKGN ini, kemudian diukur patok DP gua dengan Geodetik GPS *Sokkia GCX2* dan *Leica Viva GS08 Plus*. Kerana faktor kondisi alam yang tertutup, kerana vegetasi atau tebing, maka titik datum seringkali ditempatkan agak jauh daripada gua sehingga titik Patok Gua digunakan untuk dijadikan sebagai pangkalan pengukuran/perakaman objek pengamatan. Penentuan koordinat titik Patok Gua dilakukan dengan menggunakan Total Station *Topcon ES Series*, diukur daripada DP Situs.

Pengukuran selanjutnya dimulai daripada Patok Gua ke objek sampel yang diamati dengan total station, sehingga batas panel atau gambar objek pengamatan dapat diidentifikasi nilai koordinat globalnya. Dengan demikian setiap objek pengamatan—bahkan hingga objek berupa titik—dapat ditentukan nilai koordinatnya (x,y,z). Termasuk pula titik-titik kerosakan pada gambar dapat terpantau perubahannya, kerana dengan pengukuran yang baik, sesungguhnya setiap titik di dalam frame sampel pengamatan telah memiliki nilai koordinat horizontal dan vertikal.

Perakaman visual

Perakaman sebagai bentuk pengabadian pengamatan, penting dilakukan sebagai penyedia data dan bukti kondisi atau kerosakan. Selain perakaman verbal seperti deskripsi (termasuk pengukuran), paling penting dilakukan adalah perakaman secara piktorial, iaitu digitalisasi visual daripada gambar objek sampel. Visualisasi digital daripada sampel dilakukan dengan kamera DSLR untuk menangkap citra gambar secara maksimal dan disimpan dalam format digital dengan ekstensi JPEG. Hasil rakaman foto tersebut disyaratkan memiliki satuan ukur yang jelas agar dapat diregistrasi dalam pada aplikasi pengolah.

Untuk kepentingan tersebut maka pemotretan dilakukan dengan tiga kaedah, iaitu:

- Foto statik, iaitu pemotretan dengan projeksi 2 dimensi, dimana dengan persyaratan tertentu objek difoto secara normal. Agar diperoleh hasil foto dengan distorsi paling rendah, maka posisi kamera ditempatkan tepat pada bahagian tengah daripada 4 titik sudut frame foto objek. Demikian pula perlu diperhitungkan bentuk permukaan objek sampel agar memperoleh posisi pemotretan yang paling seimbang. Jarak kamera dengan objek diatur sehingga dalam memperoleh gambar yang detail, tidak mengandalkan penggunaan zoom. Pemotretan statik ini dilakukan dalam dua model, iaitu pemotretan objek dengan pencahayaan alami dalam tiga momen, pagi (7.30-8.30), siang (11.30-12.30), dan sore (16.00-17.00), dan pemotretan dengan pencahayaan buatan yang dapat dilakukan setiap saat sepanjang hari.
- Fotogrametri, adalah penyatuan beberapa foto statik untuk memperoleh foto dengan citra 3 dimensi. Prinsip dalam memotret untuk keperluan ini hanya mensyaratkan posisi kamera yang tegak lurus terhadap objek pada setiap frame, dan adanya persentase area frame yang saling tumpang tindih (*overlay*). Posisi tegak lurus ini sebagai upaya untuk mengurangi distorsi dalam dimensi ruang gambar, dan persentase *overlay* frame untuk menentukan tingkat akurasi ukuran. Semakin tinggi persentase *frame* yang *overlay*, semakin tinggi pula tingkat akuransinya. Hasil akhir daripada fotogrametri adalah citra objek 3 dimensi dengan keunggulan dalam projeksi realistik, bentuk permukaan lebih nyata.
- Foto Timelapses, adalah perakaman visual dengan citra foto 2 dimensi yang dirangkai menjadi gambar hidup, layaknya sebuah video. Kaedah ini digunakan untuk merekam kondisi pencahayaan objek dalam rentang waktu tertentu, daripada saat ke saat yang lainnya, dan juga untuk merekam perkembangan terpaan cahaya menyentuh ruang gua.

Penggunaan kamera DSLR untuk merakam visualisasi objek sampel digunakan dengan pertimbangan lebih aplikatif, murah, dan unggul pada realitas dan kualitas warna dibandingkan dengan 3D scanner.

Pengulangan rutin

Prosedur pengamatan dan perakaman wajib dilakukan secara berulang dengan jangka waktu tertentu untuk mendapatkan data rakaman berkala. Penekanannya adalah prosedur teknik dan model keluaran data yang konsisten agar semua hasil pengamatan dan perakaman seragam dan mudah dibandingkan. Pengulangan secara berkala dilakukan secara disiplin untuk menangkap momen-momen yang secara waktu memberikan pengaruh, seperti pertimbangan musim, waktu harian, dan kondisi-kondisi tertentu.

Kerana sampel gambar ataupun panel gambar tidak ditandai secara fisik, maka pengukuran dilakukan dengan menggunakan *Total Station* untuk menemukan titik-titik koordinat frame pengamatan secara virtual. Dengan demikian pengamatan dan perakaman secara maksimal dapat dilakukan tanpa adanya kontak langsung dengan objek. Sebagai konsekuensinya, ketelitian dan kehati-hatian dalam menetapkan titik kontrol dan batas-batas objek pengamatan, pemasangan peralatan pengukuran, dan proses pengukuran menjadi suatu keniscayaan.

Analisis

Untuk melakukan pengukuran terhadap kerosakan atau pelapukan yang dialami objek sampel, maka jenis kerosakan diidentifikasi langsung pada objek, untuk selanjutnya dilakukan pemetaan sebaran pada frame. Masing-masing letak kerosakan ditentukan dengan menandai warna dan tekstur yang dapat dikenali pada hasil foto, kemudian dideterminasi dengan koordinat. Apabila pemotretan dilakukan secara benar, maka jenis-jenis kerosakan akan terpetakan dengan sendirinya pada foto yang dihasilkan. Semuanya akan tampil dengan penampakan perbezaan warna dan tekstur permukaan gambar dalam foto. Oleh kerana itu pengamatan langsung terhadap objek sampel sangat penting, disertai dengan catatan-catatan untuk menjelaskan karakter atau ciri daripada masing-masing jenis kerosakan. Catatan menjadi penting artinya untuk membantu dalam mengenali dan membezakan, terutama jika jenis kerosakan dalam jumlah yang banyak. Untuk kepentingan ini, maka 2 kaedah analisis foto dilakukan, iaitu:

- Analisis foto statik untuk mengetahui luasan projeksi 2 dimensi, dan untuk kepentingan pengukuran lainnya. Digunakan aplikasi *AutoCad* untuk mengetahui luasan projeksi dua dimensi
- Analisis Fotogrametri untuk mengetahui luasan permukaan sebenarnya dengan projeksi 3 dimensi, dikontrol dengan beberapa titik dengan koordinat. Dengan projeksi ini volume kerosakan objek sampel dapat dikomunikasikan dengan lebih realistik. Untuk memperoleh fotogrametri dengan menggunakan aplikasi *Agisoft Photo Scan/Agisoft Metashape*, untuk memandu dalam interpretasi citra dan membantu mengukur luasan atau volume kerosakan pada permukaan gambar sampel.

Hasil analisis daripada data rakaman daripada dua atau lebih sesi pengukuran dengan rentang waktu tertentu akan dihitung perbezaan volume daripada dua atau lebih sesi pengukuran.

PENERAPAN DI KAWASAN KARST MAROS-PANGKEP

Penerapan kaedah pengamatan dan perakaman sampel gambar gua prasejarah telah dimulai oleh Balai Pelestarian Cagar Budaya Sulawesi selatan dalam rangka mendukung upaya konservasi terhadap laju kerosakan yang terjadi terhadap situs-situs gua prasejarah, khususnya yang mengandung gambar-gambar gua prasejarah di kawasan ini sejak tahun 2018. Daripada 242 situs gua yang mengandung gambar gua prasejarah, dipilih 5 gua dengan variasi lingkungan yang berbeza, salah satunya adalah Leang Jarie di Desa Samanggi Kecamatan Simbang Kabupaten Maros Provinsi

Sulawesi Selatan dengan posisi astronomis $5^{\circ} 01' 55.53''$ - $5^{\circ} 01' 57.44''$ LS dan $119^{\circ} 41' 12.61''$ - $119^{\circ} 41' 13.97''$ BT dengan elevasi antara 19.5-32.5 meter di atas permukaan laut (mdpl).

Pemilihan Leang Jarie untuk melihat pengaruh aktivitas penduduk dan kemungkinan adanya pengaruh lalu lintas, baik akibat emisi mahupun getaran yang ditimbulkan, hal ini kerana objek terletak 130 meter daripada jalan raya dengan volume kenderaan yang cukup padat. Demikian pula dengan pemukiman yang meskipun tidak padat, areal situs terletak dalam lingkungan pemukiman dengan aktivitas pertanian yang cukup intensif. Selain pertimbangan tersebut, pemilihannya juga terkait dengan aksesibilitas yang cukup baik, sangat cocok untuk kegiatan pemantauan yang dilaksanakan secara berkala.

Pengamatan dimulai dengan menentukan sampel berupa panel pada langit-langit relung pada dinding bahagian atas sebelah timur ruang utama gua, atau pada ketinggian 5.7 meter di atas permukaan lantai gua. Titik-titik sampel dideterminasi dengan koordinat horizontal dan vertikal daripada patok gua dengan pangkalan pengukuran pada patok DP Situs yang ditarik daripada Patok JKG N No. TTG.2010.0092 dengan koordinat $5^{\circ} 1' 42.89880''$ LS dan $119^{\circ} 34' 13.41840''$ BT dengan elevasi 8,908 m di atas permukaan laut. Pengukuran dan transfer titik kontrol geodetik dilakukan dengan menggunakan Geodetik GPS Sokkia GCX2 dengan kaedah jaring. Titik DP Situs ini kemudian diidentifikasi dengan Kode JRE01 (JRE=Jarie, dan 01=nomor identitas Bench Mark/BM), yang selanjutnya nilai horizontal dan vertikalnya ditransfer ke Patok Gua, iaitu titik x 797966.890 dan y 9443134.339 pada ketinggian (z) 26.307 mdpl.

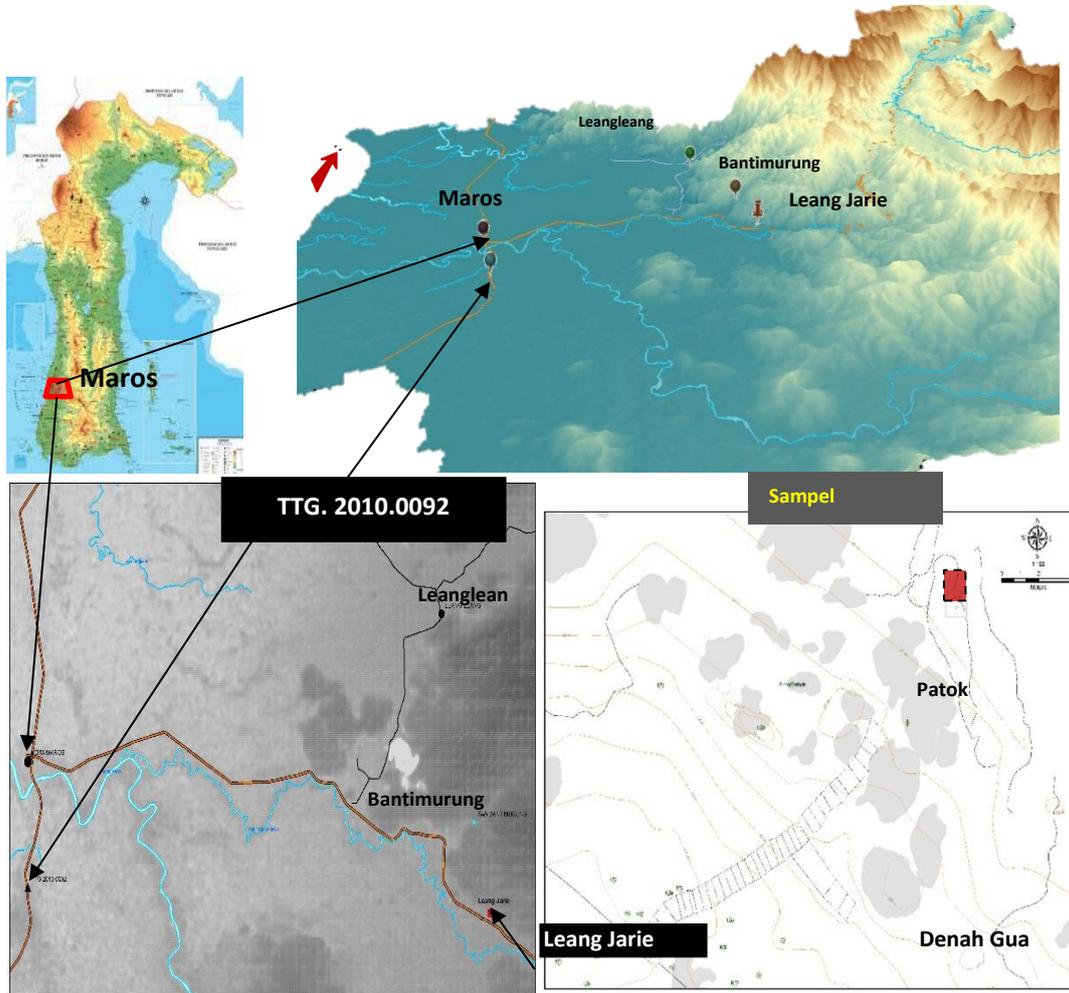
Patok Gua tersebut menjadi pangkalan pengukuran untuk menentukan posisi panel sampel yang diidentifikasi dengan 4 titik sudut cakupan kamera, 2 titik kerosakan, dan 2 titik kontrol iaitu:

No.	Titik	Posisi UTM		Posisi Degree		Tinggi (mdpl)
		X	Y	Latitude	Longitude	
1	Sudut 1	797969.49151700	9443138.9955900	$5^{\circ}1'56.706''$	$119^{\circ}41'13.533''$	32.208
2	Sudut 2	797969.30300000	9443139.5480000	$5^{\circ}1'56.688''$	$119^{\circ}41'13.527''$	32.094
3	Sudut 3	797969.70800000	9443139.6580000	$5^{\circ}1'56.684''$	$119^{\circ}41'13.540''$	32.075
4	Sudut 4	797969.70900000	9443139.6620000	$5^{\circ}1'56.686''$	$119^{\circ}41'13.538''$	32.084
5	Titik Kontrol 1	797969.75500000	9443139.2110000	$5^{\circ}1'56.698''$	$119^{\circ}41'13.542''$	32.299
6	Titik Kontrol 2	797969.57300000	9443139.3940000	$5^{\circ}1'56.693''$	$119^{\circ}41'13.536''$	32.308
7	Titik Rosak*) 1	797969.53200000	9443139.2280000	$5^{\circ}1'56.698''$	$119^{\circ}41'13.535''$	32.318
8	Titik Rosak*) 2	797966.53200000	9443139.2590000	$5^{\circ}1'56.700''$	$119^{\circ}41'13.535''$	32.347

Ket: *) kerosakan berupa pengelupasan

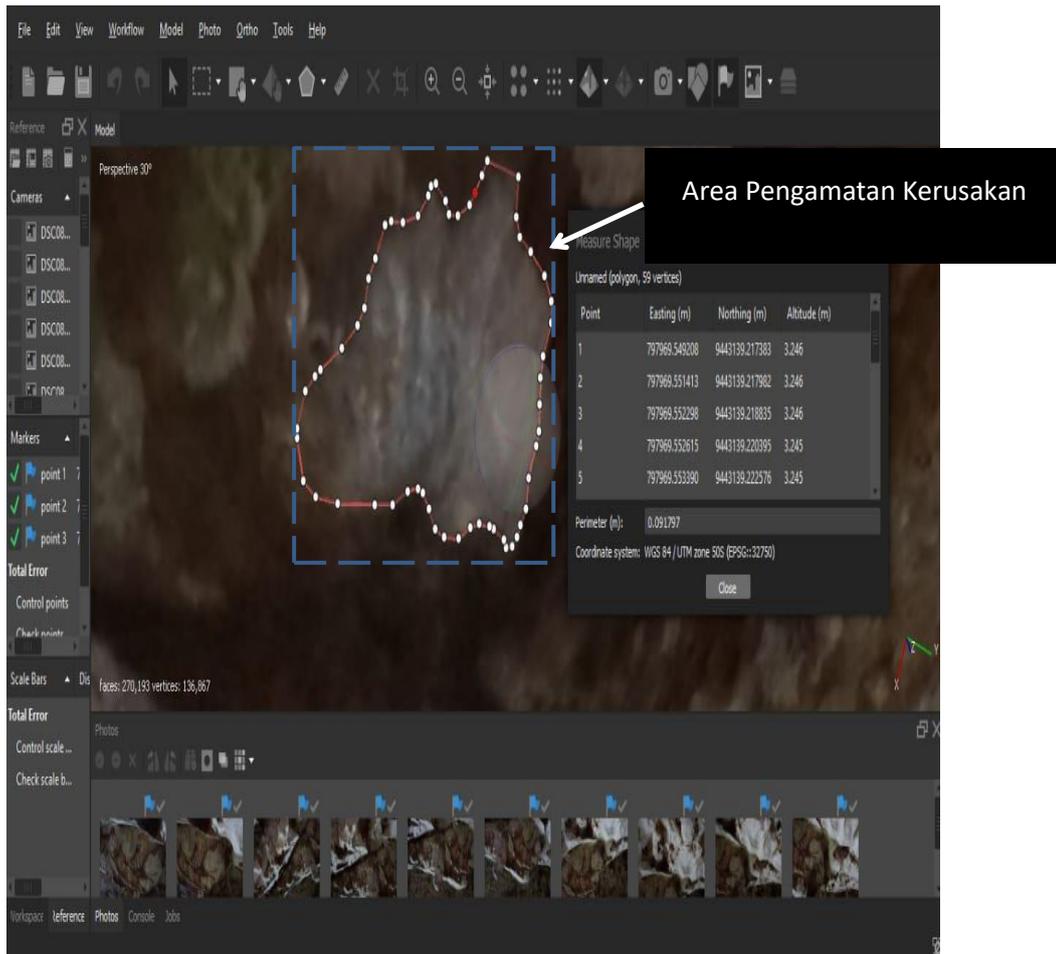
Perakaman sampel dengan menggunakan Sony $\alpha 7$ untuk memotret sampel projeksi foto 2 dimensi dan kamera Sony Nex 7 untuk fotogrametri sampel projeksi 3 dimensi. Pemotretan panel 2 dimensi menggunakan monopod yang dimodifikasi untuk memastikan posisi kamera stabil dan permanen, sehingga proses pemotretan dapat dilakukan secara berulang dan konsisten baik untuk

posisi kamera mahupun jarak terhadap panel. Posisi kamera pada titik x 797969.6940000 (119°41'13.54" BT), dan y 9443139.3160000 (5°1'56.695" S) pada elevasi 31.416 mdpl.



Gambar 1. Sampel pengamatan di Leang Jarie, lereng bukit karst 17 km sebelah timur Kota Maros di Kabupaten Maros Provinsi Sulawesi Selatan. Secara astronomis, keletakannya didefinisikan dengan koordinat X,Y,Z, yang ditarik daripada JKG N TTG.2010.0092 ke patok Gua.

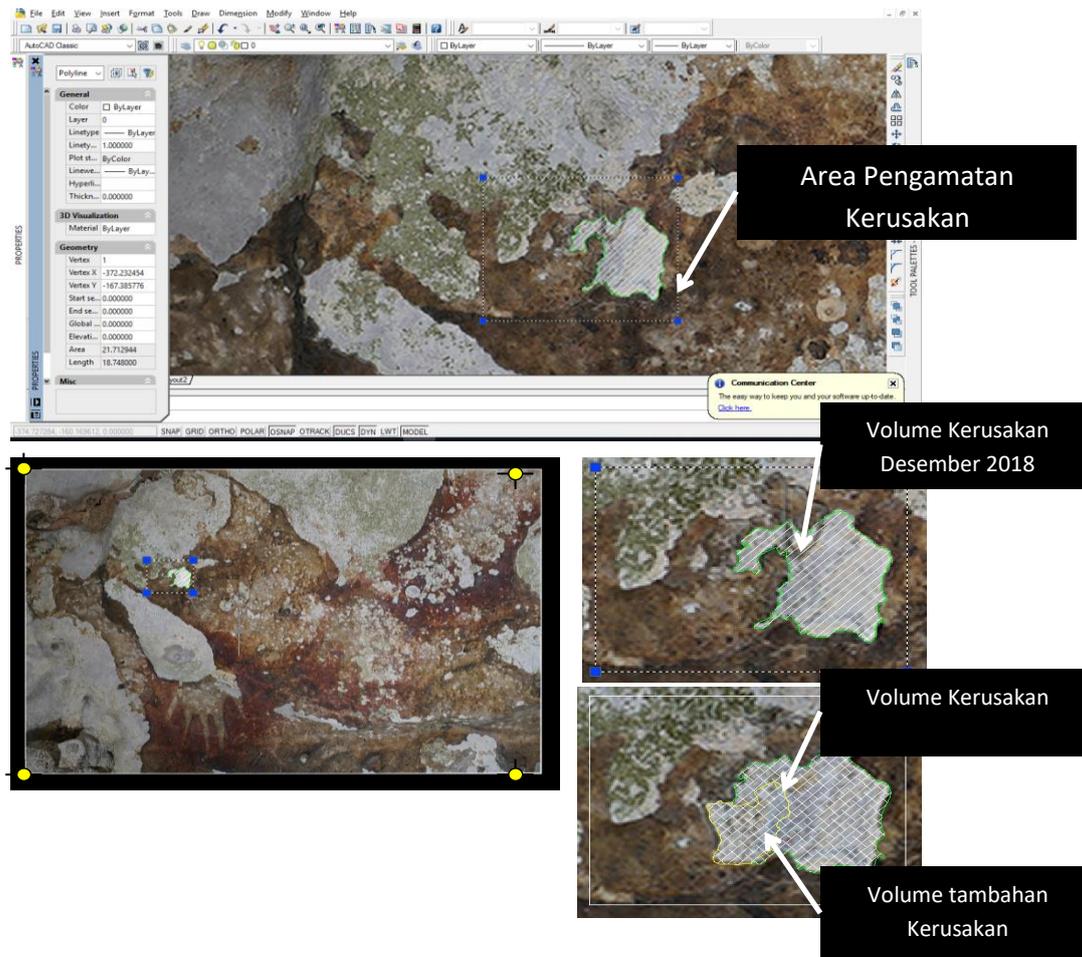
Berdasarkan hasil kajian pelestarian yang dilakukan oleh BPCB Sulawesi Selatan di 5 sampel di Kabupaten Pangkep pada tahun 2015, diidentifikasi 12 jenis kerosakan dan pelapukan yang dialami gambar-gambar gua prasejarah. Kerosakan dan pelapukan tersebut antara lain; haus, batuan retak, ganggang, lichen, lumut, permukaan tidak rata, popcorn, pudar, sarang serangga/rayap, terkelupas, vandalisme, dan travertin. Jenis kerosakan yang paling dominan ditemui adalah pengelupasan, sehingga jenis kerosakan ini yang dianggap paling mendesak untuk diketahui kecepatan laju kerosakannya. Untuk tujuan tersebut, maka pengamatan dan perakaman ini dilakukan untuk memantau laju kerosakan dan kecepatannya. Namun demikian, untuk memudahkan atau mengatasi keterbatasan sumberdaya, maka objek pengamatan mempersempit pada areal kecil pada panel sampel. Area pengamatan seluas 21.71 cm² daripada ini berada pada posisi x 797969.549208-797969.553390 dan y 9443139.217383-9443139.222576 pada ketinggian 32.45-32.46 mdpl.



Gambar 2. Proses pengukuran volume kerusakan pada citra 3 dimensi (fotogrametri), pengolahan dengan Aplikasi Agisoft Photoscan.

Pengamatan selama tiga periode, yaitu September, Oktober 2018, dan Maret 2019 menghasilkan 9 foto dengan kondisi pencahayaan alami dan 3 foto panel dengan pencahayaan buatan. Untuk mengidentifikasi terjadinya pertambahan kerusakan — khususnya pengelupasan — 3 foto pencahayaan buatan ditumpangtindihkan (*overlay*). Untuk ini data yang digunakan adalah foto statik proyeksi 2 dimensi dengan meregistrasi foto tersebut di aplikasi AutoCad dalam bentuk *raster*.

Sementara untuk hasil perakaman foto proyeksi 3 dimensi digunakan untuk membandingkan sebaran kerusakan dalam visualisasi yang realistis dengan foto 2 dimensi pada aplikasi AutoCad. Hal ini penting untuk menghindari daripada terjadinya distorsi citra foto akibat sudut pemotretan bidang miring yang tidak tegak lurus terhadap posisi lensa kamera. Titik-titik sudut frame dan titik-titik kontrol dalam determinasi koordinat membantu dalam menginterpretasi citra-citra yang diduga tidak akurat (Gambar 2).



Gambar 3. Pengamatan kerosakan dan pengukuran volume kerosakan dengan aplikasi AutoCad

Berdasarkan hasil analisis projeksi 2 dimensi dengan AutoCad terhadap tiga foto, diperoleh kondisi kerosakan pada area pengamatan berupa:

- Foto 1 periode Oktober 2018, volume kerosakan seluas 4,038 cm²;
- Foto 2 periode November 2018, volume kerosakan seluas 4,038 cm²;
- Foto 3 periode Maret 2019, volume kerosakan seluas 5,407 cm².

Daripada hasil analisis data foto tersebut diperoleh bahawa tidak terjadi pertambahan kerosakan dalam waktu 1 bulan setelah pengamatan pertama, namun 4 bulan setelah pengamatan kedua, ditemukan adanya pertambahan pengelupasan seluas 1,372 cm². Namun demikian, angka volume kerosakan tersebut tidak bisa dikategorikan sebagai volume sebenarnya kerana projeksi 2 dimensi menghilangkan volume permukaan lengkung yang tidak terbaca pada kaedah projeksi ini. Volume pengelupasan daripada analisis projeksi 3 dimensi diyakini akan menghasilkan volume yang lebih besar. Dalam konteks pemantauan laju kerosakan gambar, kaedah projeksi 2 dimensi masih dapat digunakan untuk mengetahui kecepatan laju kerosakan. Hal ini kerana foto dan ukuran kerosakan hanya instrumen untuk mengetahuinya, dengan syarat bahawa kaedah dan spesifikasi pemotretan dilakukan dengan konsisten.

KESIMPULAN

Kaedah perakaman untuk mengidentifikasi dan mengukur laju kerosakan pada gambar gua-gua prasejarah, sebenarnya dapat dilakukan dengan lebih akurat, iaitu dengan menggunakan alat scan 3D, namun masih terkendala dengan ketersediaan alat atau biaya yang besar. Selain itu kondisi lingkungan karst yang sulit dalam mobilisasi peralatan scan menjadi salah satu hambatan tersendiri. Kaedah ini merupakan salah satu solusi yang ditawarkan, meskipun belum sempurna dan masih

terus dilakukan pengembangan dan penyempurnaan. Beberapa kelemahan masih menjadi masalah dalam hal akurasi dan konsistensi, baik proyeksi 2 dimensi maupun 3 dimensi, yaitu pengabaian lengkungan permukaan gambar dan dipaksa menjadi proyeksi permukaan rata pada foto 2D. Pada Proyeksi 3 dimensi, kelemahan dalam sistem pengukuran dengan kaedah fotogrametri dengan kamera digital, perlu dikoreksi tingkat akurasi hasil mozaik atau penggabungan melalui pengolahan digital puluhan hingga ratusan frame foto. Hal ini disebabkan oleh tidak konsistennya jarak pengambilan foto daripada permukaan yang bergelombang ke lensa optik kamera dengan posisi yang statis.

Untuk pengukuran jenis kerusakan lainnya masih perlu pengembangan kaedah yang lebih baik, terutama terkait dengan kerusakan dengan karakter tertentu, misalnya warna dan haus. Hal ini kerana sangat bergantung pada penyetelan kamera, kemampuan lensa, tingkat kandungan air/kelembapan, dan pencahayaan. Suatu keyakinan bahawa dengan terus melakukan pembenahan dan pengembangan kaedah ini dapat menjadi solusi yang aplikatif dalam memantau perkembangan kondisi kelestarian gambar-gambar gua prasejarah, khususnya di kawasan karst Maros-Pangkep saat ini.

Sistem pengamatan dan pengukuran yang baik, akurat, dan analisis yang tepat dapat mengenali kerusakan/pelapukan, diukur volumenya, perubahannya, serta akhirnya diketahui kecepatan laju kerusakannya. Dalam pengamatan yang lebih intensif, berulang dengan rentang waktu tertentu, maka dapat diprediksi kemampuan bertahan maksimal suatu gambar dapat eksis. Demikian juga apabila pengamatan dilengkapi dengan rakaman kondisi lingkungan di sekitar objek atau gua, baik secara mikro maupun makro, maka dapat diketahui penyebab kerusakan daripada korelasi-korelasi eksternal. Selanjutnya strategi penanggulangannya dapat disusun untuk dilakukan konservasi. Akhirnya diharapkan upaya-upaya tersebut dapat memperpanjang usia gambar-gambar gua prasejarah dengan segala keunikannya, baik bentuk, nilai, dan sifatnya.

RUJUKAN

- Ahmad, Amran dan A. Siady Hamzah. 2016. *Data Base Karst Sulawesi Selatan*. Sulawesi Selatan: Badan Lingkungan Hidup Sulawesi Selatan.
- Aubert. M. et. al. 2014. Late Pleistocene Cave Paintings from the Maros karst of Sulawesi, Indonesia. *Nature* 514: 223-227.
- Jopela, Albino. 2010. Towards a Condition Monitoring of Rock Art Sites: the case of BNE 1 in Free State Province, South Africa. *South African Archaeological Bulletin* 65(191): 58-66.
- Permana, R. Cecep Eka. (pnyt.). 2015. *Gambar Cadas Prasejarah di Indonesia*. Jakarta: Direktorat Pelestarian Cagar Budaya dan Permuseuman Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia.

Rustan,
Balai Pelestarian Cagar Budaya,
Sulawesi Selatan, Makassar
Indonesia
Email: rustanlebe@gmail.com

Akin Duli (Ph.D)
Professor
Fakultas Ilmu Budaya
Universitas Hasanuddin,
Makassar, Indonesia
Email: akinduli@yahoo.id

Muhammad Nur (Ph.D)
Departemen Arkeologi
Universitas Hasanuddin,
Makassar, Indonesia
Email: nur110970@gmail.com

Diserahkan: 4 September 2019
Diterima: 25 Oktober 2019