

Jamur *Paecilomyces* dari Leang Pettae di kawasan karst Maros dan saran pelestarian gambar cadasnya

The fungus *Paecilomyces* from Leang Pettae in Maros karst area and the suggestions for rock art preservation

R. Cecep Eka Permana^{1*}, Mohammad Habibi^{2,3}, dan Edy Gunawan⁴

Departemen Arkeologi, Universitas Indonesia¹, Kongju National University, Korea Selatan², Balai Konservasi Borobudur³, Balai Pelestarian Cagar Budaya Provinsi Kalimantan Timur⁴

*cecep04@ui.ac.id

ABSTRACT

Keywords:

Fungus
Paecilomyces;
Leang Pettae;
rock arts;
preservation

This paper examines microorganisms causing damage to rock arts in Leang Pettae, Maros Karst Area, South Sulawesi. The damage is indicated by a layer of white sediment on the cave walls and rock arts. This research aims to identify the microorganisms that cause the damage and to determine the preservation strategy for the rock arts. Microorganism samples were taken from the area around the damaged hand stencils and figurative paintings of babirusa (*Babyrousa*). The samples were cultured on PDA (Potatoes Dextrose Agar) medium at the Biology Laboratory of the Agency for Borobudur Conservation. The analysis identifies fungus from the genus *Paecilomyces*, which thrives in humid and wet conditions, and produces protease enzymes that affect the organic elements of the rock arts. To preserve the rock arts in Leang Pettae, it is suggested to control temperature and humidity, prevent air pollution, and limit human activities inside the cave.

ABSTRAK

Kata Kunci:

Jamur
Paecilomyces;
Leang Pettae;
gambar
cadas;
pelestarian

Tulisan ini mengkaji mikroorganisme penyebab kerusakan gambar cadas di Leang Pettae, Kawasan Karst Maros, Sulawesi Selatan. Mikroorganisme ini tumbuh subur pada kondisi gua yang lembab dan basah. Bentuk kerusakan ditunjukkan dengan lapisan endapan putih pada dinding gua dan gambar cadas. Penelitian ini mengidentifikasi mikroorganisme penyebab kerusakan sebagai upaya pencegahan serta pelestarian gua dan gambar cadas. Sampel mikroorganisme diambil dari sekitar gambar cap telapak tangan dan babirusa yang mengalami kerusakan. Pemiakan sampel dilakukan pada media PDA (*Potatoes Dextrose Agar*) di Laboratorium Biologi Balai Konservasi Borobudur. Analisis berhasil mengidentifikasi sampel berupa jamur dari genus *Paecilomyces*. Jamur jenis ini menghasilkan enzim protease dan dapat mempengaruhi unsur organik gambar cadas yang menyebabkan kerusakan pada banyak gambar cadas. Berdasarkan karakteristik jamur, saran untuk pelestarian gambar cadas di Leang Pettae yakni, mengontrol suhu dan kelembapan, mencegah polusi udara, dan membatasi aktivitas manusia di dalam ruang gua

Artikel Masuk 14-10-2020
Artikel Diterima 29-03-2021
Artikel Diterbitkan 30-05-2021



**BERKALA
ARKEOLOGI**

VOLUME : 41 No.1, Mei 2021, 1-14
DOI : [10.30883/jba.v4i1.602](https://doi.org/10.30883/jba.v4i1.602)
VERSION : Indonesian (original)
WEBSITE : <https://berkalaarkeologi.kemdikbud.go.id>

ISSN: 0216-1419

E-ISSN: 2548-7132



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License

PENDAHULUAN

Gambar cadas atau disebut juga lukisan gua prasejarah (*rock art*) merupakan hasil budaya yang bersifat universal karena terdapat hampir di seluruh dunia, baik di Afrika, Eropa, Amerika, Asia, maupun Australia. Temuan gambar cadas umumnya berupa motif cap telapak tangan (*hand stencil*), binatang (*zoomorphic*), manusia (*anthropomorphic*), geometris, dan motif abstrak. Gambar cadas prasejarah di Indonesia yang terbanyak ditemukan di Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, Kalimantan Timur, Maluku, dan Papua Barat ([Permana, 2014](#)). Adanya bukti gambar cadas menunjukkan bahwa manusia pernah beraktivitas di tempat itu. Gambar cadas di Indonesia juga merupakan suatu hasil budaya yang dicapai pada masa berburu dan mengumpulkan makanan tingkat lanjut ([Soejono & Leirissa, 2009](#)).

Budaya gambar cadas di Indonesia termasuk tertua di dunia, sejajar dengan gambar cadas di situs gua yang terkenal di Eropa, yakni El Castillo (Spanyol). Penelitian gambar cadas prasejarah yang dilakukan di kawasan karst Maros-Pangkep (Sulawesi Selatan) pada tahun 2019 menunjukkan bahwa gambar cadas di Situs Leang Bulu Sipong 4 berusia 44 ribu tahun, sementara di Situs El Castillo kurang dari usia tersebut. Gambar cadas di Situs Leang Bulu Sipong 4 menampilkan adegan perburuan binatang dan gambaran *therianthrope* (makhluk setengah manusia dan setengah hewan) ([Aubert et al., 2019](#)). Penelitian 2019 merupakan penguatan dari penelitian sebelumnya, yakni tahun 2014 di Situs Leang Timpuseng. Kronologi gambar cadas di Situs Leang Timpuseng dengan menggunakan metode yang sama (*uranium series*) termasuk tertua, yakni berusia 39.900 tahun untuk motif cap telapak tangan dan berusia 35.400 tahun untuk motif babirusa ([Aubert et al., 2014](#)).

Pertanggalan gambar cadas diketahui sangat tua, sehingga wajar apabila banyak gambar cadas yang rusak dan terancam hilang. Bednarik menengarai bahwa gambar cadas pada lingkungan alami saat ini sudah mencapai titik keseimbangan yang tinggi. Keseimbangan ditunjukkan dengan gambar cadas yang telah berusia puluhan ribu tahun, dijumpai dalam keadaan yang masih baik. Apabila terdapat kerusakan pada gambar cadas, umumnya lebih banyak disebabkan bukan dari gambar itu sendiri, melainkan karena faktor luar. Faktor penyebab kerusakan yakni sebagai akibat pelapukan alami pada media gambar. Selain itu, kerusakan juga disebabkan oleh aktivitas manusia seperti, permukiman, pertanian, pariwisata, industri, dan vandalisme ([Bednarik, 2003](#)).

Kondisi situs dan gambar cadas di Maros-Pangkep (Sulawesi Selatan) dapat mewakili keadaan geografis karst situs gua prasejarah pada umumnya di dunia. Gugusan karst terbentuk akibat proses pengangkatan pada zaman pasca-Glasial kala Holosen. Gugusan karst mempunyai karakter tersendiri, yakni adanya sisa-sisa jenis binatang laut, adanya menara-menara karst, dan rekahan-rekahan pada batuan. Berdasarkan ciri-ciri tersebut, wilayah karst Maros-Pangkep dapat dimasukkan ke dalam tipe topografi karst. Satuan morfologi karst membujur ke arah timur sampai ke gugusan pegunungan kapur Bulu Ballano yang merupakan daerah perbukitan gamping. Hal ini dibuktikan dengan adanya stalaktit dan stalagmit yang terdapat di dalam gua, jembatan-jembatan alam, dan menara-menara karst ([Suhartono et al., 2008](#)).

Gugusan pegunungan karst Maros-Pangkep memiliki karakteristik yang khas karena proses pelarutan batuan (karstifikasi). Akibat proses tersebut maka terbentuk bukit-bukit karst yang menyerupai menara (*tower karst*). Pada bagian kaki bukit-bukit karst terdapat lubang-lubang alami (gua) yang oleh penduduk setempat disebut *leang* ([Said et al., 2007](#)). Gugusan karst yang membentang

sepanjang Kabupaten Maros dan Kabupaten Pangkep merupakan terbesar kedua di dunia setelah Cina. Pada sejumlah *leang* banyak ditemukan sisa peradaban nenek moyang dari masa prasejarah. Gugusan karst Maros-Pangkep berdasarkan SK Menhut No. 398/Menhut-11/2004 masuk dalam kawasan Taman Nasional Bantimurung-Bulusaraung ([Said et al., 2007](#)).

Penelitian gambar cadas di Sulawesi Selatan telah dilakukan sejak tahun 1950, namun sempat terhenti selama beberapa tahun. Kegiatan penelitian dimulai kembali pada tahun 1969, diselenggarakan oleh Pusat Penelitian Purbakala dan Peninggalan Nasional bekerja sama dengan Departemen Prasejarah Australian National University. Hasil analisis C-14 pada penelitian bersama tersebut adalah pertanggalan 1030±275 M (ANU-392), 870±210 SM (ANU-391), dan 1470±400 SM (ANU-390) ([Mulvaney & Soejono, 1970](#)). Penghunian gua di Sulawesi Selatan berdasarkan penelitian Glover di Situs Ulu Leang 1 dan Leang Burung 1 dalam konteks lapisan budaya Toalean berasal dari 8.000–3.500 tahun yang lalu ([Glover, 1976](#)). Penelitian lebih lanjut Glover di Situs Leang Burung 2 menunjukkan kerangka waktu 35.000–24.000 tahun yang lalu ([Glover, 1981](#)). Kerangka waktu budaya gambar cadas di Sulawesi Selatan semakin tua dengan dilakukannya penelitian bersama Pusat Penelitian Arkeologi Nasional dengan University of Wollongong Australia. Sampel dari Situs Leang Timpuseng (Maros) menunjukkan usia 39.900 tahun, sementara sampel dari Situs Leang Bulu Sipong 4 menunjukkan usia 44.000 tahun ([Aubert et al., 2014, 2019](#)).

Rentang waktu yang panjang menyebabkan gambar cadas gua di kawasan karst Sulawesi Selatan, khususnya wilayah Maros-Pangkep, banyak ditemukan dalam kondisi rusak. Kajian gambar cadas di Sulawesi Selatan yang terkait dengan kerusakan dan pelestarian dimulai pada tahun 1980-an. Kajian ini berfokus pada kegiatan untuk melakukan konservasi gambar cadas atau lukisan gua yang rusak. Upaya awal pelestarian gambar cadas Indonesia pertama kali dilakukan di Situs Leang Sumpang Bitu dan Leang Petta Kere oleh Proyek Pemugaran dan Pemeliharaan Peninggalan Sejarah dan Purbakala ([Samidi, 1986](#)). Sekitar 20 tahun kemudian, dilakukan evaluasi terhadap kegiatan konservasi era 1980-an. Hasil evaluasi oleh Balai Konservasi Borobudur menyimpulkan, konservasi yang dilakukan sebelumnya banyak menimbulkan dampak negatif terhadap gambar-gambar cadas. Kegiatan konservasi yang dilakukan saat itu menggunakan bahan-bahan kimia untuk pembersihan bagian yang rusak dan memperbarui gambar cadas ([Permana, 2009; Suhartono et al., 2008](#)).

Berbeda dari era tahun 1980-an, pada era tahun 2000-an, kajian beralih fokus pada bentuk dan proses kerusakan gambar cadas. Kajian ini berusaha mencari faktor-faktor penyebab kerusakan dan upaya penanganannya ([Suhartono, 2012](#)). Mengacu pada definisi bahwa gambar cadas prasejarah (*rock art*) yang masih terikat pada batuan induk alami, gambar cadas yang melekat pada batuan karst sangat rentan rusak apabila media gambar cadas mendapat gangguan. Menurut kajian yang dilakukan oleh Robert Bednarik, ahli konservasi gambar cadas Australia, gangguan pada batuan sebagai akibat proses alami umumnya berupa pelapukan. Pelapukan pada batuan biasanya disebabkan karena kelembapan akibat dari rembesan air secara kapilaritas dalam batuan atau secara hidrologis menembus struktur batuan pembentuk gua ([Bednarik, 2003](#)).

Lebih lanjut Bednarik menjelaskan, bahwa curah hujan yang tinggi atau aliran air akibat gravitasi, dapat membuat air meresap hingga menembus dan

membasahi permukaan batuan bergambar. Air yang bergerak di dalam batuan, baik secara gravitasi maupun kapiler, membawa zat terlarut berupa garam kation, klorida, dan karbonat. Zat-zat garam tersebut akan mengalami pengendapan pada zona tertentu. Zona pengendapan garam (*subflorescence*) mengembang beberapa milimeter sejajar dengan permukaan batuan dan di bawah permukaan batuan yang kemudian mengering. Proses itu terjadi berulang-ulang sampai membentuk lapisan "drummy". Lapisan "drummy" kemudian terangkat hingga akhirnya mengelupas. Proses pelapukan batuan semakin cepat terjadi pada daerah yang biasa terkena hujan langsung atau terkena rembesan air pada dinding gua. Kondisi seperti itu menyebabkan mikroorganisme tumbuh subur dan berkembang biak dengan cepat ([Bednarik, 2003](#)).

Kajian berkaitan dengan mikroorganisme sebagai penyebab kerusakan gambar cadas di Indonesia belum dilakukan. Di luar Indonesia, misalnya di Eropa, kajian mikroorganisme pada gambar cadas sudah pernah dilakukan. Kajian tentang mikroorganisme dari jenis jamur pernah dilakukan di situs Gua Lascaux yang berada di kompleks gua di daerah Dordogne (Prancis) ([Bastian et al., 2010](#)). Selain itu, kajian mikroorganisme jenis bakteri juga pernah dilakukan di situs Gua Magoura (Bulgaria) ([Mitova et al., 2015](#)).

Tulisan ini mengkaji kerusakan gambar cadas di Situs Leang Pettae yang disebabkan oleh mikroorganisme. Secara administrasi, Situs Leang Pettae berada di Kelurahan Leang-Leang, Kecamatan Bantimurung, Kabupaten Maros, Provinsi Sulawesi Selatan. Situs Leang Pettae berada dalam Kompleks Taman Prasejarah Leang-Leang di dalam kawasan pegunungan karst Maros-Pangkep. Secara geologis, kawasan pegunungan karst tersebut termasuk dalam Formasi Tonasa. Kompleks Situs Leang-Leang mudah diakses, terletak ± 35 km di sebelah utara Kota Makassar, dan dapat dijangkau menggunakan kendaraan baik beroda dua maupun beroda empat ([Nur, 2017](#)).

Situs Leang Pettae berada di kaki bukit karst dengan ketinggian 50 mdpl. Situs Leang Pettae merupakan suatu ceruk yang tidak besar serta memiliki ornamen berupa stalaktit dan stalagmit. Mulut gua menghadap ke arah barat tepatnya N 290° E. Lebar mulut gua Leang Pettae ± 3 m dan tinggi $\pm 5-6$ m. Lantai gua memiliki kemiringan +3°. Terdapat pagar di bagian mulut gua yang berfungsi menutup gua. Permukaan dinding Leang Pettae sebagian besar bertekstur kasar dan terdapat banyak tonjolan. Sementara itu, pada atap gua terdapat ornamen stalaktit. Intensitas cahaya yang masuk ke gua tidak begitu besar, sehingga bagian dalam gua menjadi remang-remang. Di bagian halaman gua terdapat kulit kerang yang diduga merupakan sampah dapur manusia masa lalu penghuni gua (lihat [Gambar 1](#)).

Tinggalan arkeologi yang ditemukan pada Situs Leang Pettae adalah gambar cadas berupa motif babirusa dan cap telapak tangan. Gambar cadas pada dinding Leang Pettae yang pertama kali ditemukan oleh Heeren Palm tanggal 26 Februari 1950, adalah cap telapak tangan dengan latar belakang warna merah sebanyak tujuh buah. Seluruh cap telapak tangan tersebut menggambarkan tangan kiri berjari lengkap dengan jari-jari yang ramping. Gambar cap telapak tangan yang masih terlihat jelas sekarang hanya berjumlah empat gambar. Tepat di sebelah kelompok cap telapak tangan, terdapat lukisan babirusa yang ditemukan oleh Van Heekeren sehari setelah penemuan cap telapak tangan. Lukisan babirusa digambarkan secara naturalis dengan teknik sapuan kuas membentuk kepala, badan, ekor, dan kaki (lihat [Gambar 2](#)).

Kondisi motif babirusa saat ini telah mengalami kerusakan sama dengan

kondisi cap telapak tangan yakni, gambar yang memudar, menjadi kurang jelas, dan mengalami pengelupasan. Selain itu, terdapat lapisan endapan putih yang berada di dekat gambar dan berada tepat di gambar tersebut. Pengamatan terhadap kondisi Situs Leang Pettae menunjukkan bahwa temperatur dan suhu pada bagian dalam ruangan rendah, lembab, dan basah. Kondisi ini memudahkan mikroorganisme untuk berkembang biak. Kondisi di bagian lantai, dinding, dan ruang di dalam gua basah dengan temperatur udara yang lebih rendah dari area mulut gua. Stalaktit dalam jumlah kecil masih meneteskan air dan ditemukan jejak air pada bagian ujungnya. Tetesan air akan muncul lebih banyak ketika musim hujan. Kondisi ini membuat sebagian gambar mengalami perubahan kualitas akibat mikroorganisme yang berkembang.

Penelitian yang dilakukan di Situs Leang Pettae bertujuan untuk mengidentifikasi mikroorganisme penyebab kerusakan gambar cadas. Identifikasi perlu dilakukan untuk mengenali jenis mikroorganisme dan karakteristik spesifik yang dimiliki. Penelitian ini juga bertujuan untuk memberikan saran pengendalian kerusakan yang disebabkan oleh mikroorganisme dalam rangka pelestarian gua dan gambar cadas.



Gambar 1. Situs Leang Pettae.
(Sumber: R. Cecep Eka Permana)



Gambar 2. Gambar cadas motif cap telapak tangan dan babirusa, serta ancaman kerusakannya.
(Sumber: R. Cecep Eka Permana)

METODE

Seperti telah disinggung di atas, kondisi Situs Leang Pettae yang lembab dan basah menyebabkan mikroorganisme cepat berkembangbiak. Dampaknya adalah banyak bagian dinding gua termasuk gambar cadas di sana yang mengalami kerusakan. Sejumlah tahap penelitian yang dilakukan untuk mengetahui dan mengenali jenis mikroorganisme penyebab kerusakan meliputi pengumpulan data, analisis data, dan hasil kajian. Hasil kajian berupa saran pengendalian dalam rangka pelestarian gua dan gambar cadas di Situs Leang Pettae.

Pengumpulan data pada bulan Juli 2019 dilakukan melalui pengambilan sampel mikroorganisme dari dinding gua yang memiliki lapisan endapan berwarna putih. Sampel yang diambil berada di antara lukisan babirusa dan cap telapak tangan (*hand stencil*) yang jaraknya berdekatan. Sampel diambil menggunakan spatula dengan cara mengerok secara berhati-hati. Sampel dimasukkan ke dalam botol kaca steril berukuran kecil, yakni sekitar 25 mg dengan pertimbangan dapat mewakili kedua objek gambar. Botol berisi sampel ditutup dengan penutup karet, dibungkus dengan aluminium foil, dan dimasukkan ke dalam kotak berpendingin (*cool box*). Proses pengambilan sampel dilakukan oleh peneliti yang mengenakan sarung tangan karet dan masker untuk mencegah kontaminasi (lihat [Gambar 3](#)), serta didampingi oleh staf dari BPCB Sulawesi Selatan dan petugas juru pelihara situs setempat.

Kegiatan analisis sampel dilakukan di Laboratorium Biologi Balai Konservasi Borobudur (lihat [Gambar 3](#)). Ada dua jenis metode yang dilakukan di laboratorium, yakni pemurnian dan pembiakan, serta identifikasi jenis mikroorganisme. Metode pemurnian dan pembiakan sampel dilakukan pada media PDA (*Potatoes Dextrose Agar*). Masing-masing cawan melalui tahap inkubasi selama 5-7 hari di dalam *Mould Fungus Incubator*. pembiakan kultur murni dilakukan dengan jarum *Ose*. Sebelum jarum digunakan, terlebih dahulu jarum dibakar hingga kawatnya berpijar. Setelah dibakar, jarum didinginkan selama \pm 8-10 detik. Jarum *Ose* merupakan alat untuk melakukan inokulasi. Biasanya, ujung batang jarum *Ose* yang berbentuk lurus digunakan untuk inokulasi dengan teknik gores pada media. Sampel untuk inokulasi diambil dari tempat pembiakan sebanyak satu *Ose*, lalu dimasukkan ke dalam tabung yang



Gambar 3. Pengambilan sampel (kiri) dan proses inokulasi sampel mikroorganisme pada media PDA (kanan).

(Sumber: Moh. Habibi)

berisi media agar. Tabung inokulasi diberi label dan mengalami proses inkubasi di dalam inkubator dengan suhu 27^o C selama 5-7 hari. Setelah diperoleh isolat murni, masing-masing isolat ditanam pada cawan yang telah berisi media agar. Selanjutnya, seperti halnya pada tabung inokulasi, cawan juga diberi label dan

mengalami proses inkubasi dalam inkubator dengan suhu 27^o C selama 5-7 hari. Setelah mengalami proses tersebut, pertumbuhan mikroorganisme sudah terlihat, sehingga ciri-cirinya siap untuk diidentifikasi.

Setelah pertumbuhan mikroorganisme terlihat, langkah berikutnya adalah memindahkan mikroorganisme ke media baru (inokulasi). Inokulasi mikroorganisme dilakukan dengan cara mengoleskan sampel pada media PDA (*Potatoes Dextrose Agar*). Inkubasi biakan mikroorganisme pada inkubator dilakukan dengan RH 70-80% dan suhu 25^o C. Setelah tiga hari, dilakukan pengamatan terhadap pertumbuhan mikroorganisme di mikroskop. Pada awalnya sampel dari Situs Leang Pettae sulit untuk ditumbuhkan (lihat [Gambar 4](#)). Namun, setelah percobaan pada beberapa media, mikroorganisme mulai tumbuh di media PDA. Mikroorganisme yang mulai tumbuh pada bulan Oktober 2019 tergolong sangat lambat, sehingga membutuhkan waktu lama dalam proses pertumbuhannya.

Berdasarkan hasil isolasi mikroorganisme, hanya diperoleh satu isolat yang mampu tumbuh di dalam media PDA. Isolat yang tumbuh tersebut kemudian dianalisis untuk mengetahui identifikasi jenis secara lebih spesifik. Hasil identifikasi mengarah kepada karakteristik mikroorganisme untuk dijadikan saran dalam upaya pelestarian gua dan gambar cadas.



Gambar 4. Penampakan mikroorganisme dari Leang Pettae di mikroskop (400x).
(Sumber: Moh. Habibi)

HASIL PENELITIAN

Penelitian mengenai mikroorganisme penyebab kerusakan gambar cadas gua prasejarah di Indonesia pada umumnya dan di Sulawesi Selatan pada khususnya, belum banyak dilakukan. Oleh karena itu, belum tersedia referensi yang memadai untuk melakukan perbandingan antara penelitian ini dengan penelitian lainnya. Selain itu, melalui beberapa kali percobaan di laboratorium, hasil isolasi jamur dari dinding Leang Pettae hanya menghasilkan satu isolat yang mampu tumbuh pada media PDA. Terkait dengan kondisi tersebut, jenis jamur lainnya mungkin akan bisa diidentifikasi apabila menggunakan metode dan teknologi yang lebih canggih. Fokus tulisan ini adalah untuk membahas jenis jamur yang sudah teridentifikasi dalam upaya pelestarian gambar cadas di Situs Leang Pettae.

Hasil identifikasi pada isolat yang diperoleh menunjukkan jenis jamur (*fungi*) dari genus *Paecilomyces*. Identifikasi jamur belum mencapai tingkat spesies, karena keterbatasan sarana, prasarana, dana, dan sampel yang ada.

Klasifikasi genus *Paecilomyces* menurut ([Barnett & Hunter, 1972](#)) adalah:

Kingdom : Fungi
Division : Deuteromycota

Class : *Hyphomycetes*
Order : *Moniliales*
Family : *Moniliaceae*
Genus : *Paecilomyces*

Samson melakukan koreksi klasifikasi tersebut. Klasifikasi yang kemudian berlaku hingga sekarang adalah (lihat juga di laman: drfungus.org) (Samson, 1974):

Kingdom : *Fungi*
Division : *Ascomycota*
Class : *Euascmycetes*
Order : *Eurotiales*
Family : *Trichocomaceae*
Genus : *Paecilomyces*

Klasifikasi berdasarkan karakteristik morfologi yang dilakukan pada jamur dari genus *Paecilomyces* hingga tingkat spesies memang seringkali menjadi sangat sulit. Kesulitan terjadi akibat jamur golongan genus ini kebanyakan merupakan produk mutasi dari budidaya seperti tanaman, makanan, dan kosmetik. Kesulitan lain muncul bila menggunakan metode identifikasi secara tradisional atau non-DNA (Inglis & Tigano, 2006).

Hasil identifikasi jamur di Laboratorium Biologi Balai Konservasi Borobudur dari Situs Leang Pettae menunjukkan ciri umum dari golongan genus *Paecilomyces*, yakni memiliki *konidia* dan hifa. Ciri morfologi yang tampak adalah rantai *phialoconidia* bersel tunggal (*amerconidia*) diproduksi dalam suksesi *basipetal* dari *phialidae*. *Konidia* terbentuk dalam rantai dengan usia termuda terletak di bagian dasar yang disebut *basocatenate* (lihat Gambar 5).



Gambar 5. Jamur *Paecilomyces* yang diisolasi dari gambar cadas Situs Leang Pettae; (a) *konidia* dan (b) *hifa*. (Sumber: Moh. Habibi)

Pengamatan di laboratorium menunjukkan perkembangan koloni jamur termasuk cepat dan memiliki bentuk bubuk atau tepung. Pada awal pertumbuhan koloni jamur berwarna putih, tetapi ketika sampai tahap sporulasi berwarna kuning kehijauan. Bagian *phialides* yakni sel yang menghasilkan *konidium* membesar pada pangkal koloni dan meruncing ke leher. Sementara itu, *hialin* berwarna gelap, halus atau kasar, dan berbentuk bulat telur untuk *fusoid konidia*. Nucci & Anaissie dalam buku *Clinical Mycology* juga menggambarkan pertumbuhan jamur seperti yang terjadi pada percobaan di laboratorium tersebut (Nucci & Anaissie, 2009).

Genus *Paecilomyces* pertama kali dideskripsikan oleh G. Bainier pada tahun 1907, sebagai genus yang berkerabat dekat dengan *Penicillium* dan hanya

terdiri atas satu spesies, yakni *Paecilomyces variotii* Bainier. Lima puluh tahun kemudian, deskripsi dari genus ini direvisi oleh A.H.S. Brown dan G. Smith. Revisi juga dilakukan oleh S.A Samson pada tahun 1975, sehingga tercatat memiliki 31 spesies. Genus ini sekarang telah terdaftar sebanyak 145 spesies ([Moreno-Gavira et al., 2020](#)).

DISKUSI DAN PEMBAHASAN

Karakteristik jamur *Paecilomyces* digambarkan bersifat kosmopolitan dan biasa hidup di tanah. Jamur *Paecilomyces* sering pula ditemukan pada sisa tanaman yang telah membusuk, pada produk makanan, dan pada produk kosmetik. Jamur *Paecilomyces* bersifat bertentangan dan saling menghalangi (antagonistik) dalam pertumbuhan terhadap jamur lain. Jamur ini juga biasa digunakan sebagai agen hayati yang efektif dalam pengendalian *nematode*, yakni sejenis cacing berbentuk benang penghambat pertumbuhan akar tanaman ([Moreno-Gavira et al., 2020](#); [Nucci & Anaissie, 2009](#)). Pada umumnya, jamur ini dapat tumbuh dengan cepat pada kelembapan lebih dari 65%. Ketika kelembapan relatif mencapai 75-95%, spora jamur tumbuh menjadi miselium. Suhu optimum yang dibutuhkan jamur adalah pada kisaran 20-35^o C, meski ada beberapa spesies yang berkembang baik pada suhu 50^o-60^o C ([Nucci & Anaissie, 2009](#)).

Berdasarkan karakteristik seperti yang telah disebutkan, hal yang wajar apabila jenis jamur *Paecilomyces* banyak ditemukan di dalam gua, termasuk situs gua prasejarah. Berkaitan dengan pelestarian gua dan gambar cadas, jamur ini menghasilkan enzim protease yang dapat merusak unsur organik gambar cadas dan sekitarnya. Dugaan ini juga didasarkan pada lapisan tempat diambilnya sampel jamur yang mendominasi dinding Leang Pettae, termasuk yang menutupi gambar cadas.

Jamur *Paecilomyces* diketahui juga dapat mendegradasi dan mengubah unsur logam pada pigmen gambar cadas menjadi bentuk lain. Gambar cadas yang umumnya dibuat menggunakan oker mengandung unsur oksida besi atau oksihidroksida seperti hematit (Fe₂O₃), goetit (FeOOH), magnetit (Fe₃O₄) dan limonit (FeO.nH₂O). Hasil reaksi unsur logam tersebut dengan jamur jenis *Paecilomyces* menghasilkan penggaraman dalam bentuk endapan warna putih ([MacDonald et al., 2019](#)).

Berdasarkan karakteristik yang diperoleh dari tahap analisis jenis jamur, maka langkah preventif (pencegahan) sebagai saran yang dapat dilakukan atau diberikan untuk meminimalisir pengaruh jamur terhadap gambar cadas adalah dengan mengontrol lingkungan, seperti suhu dan kelembapan. Hasil pengukuran suhu pada saat pengambilan sampel di Leang Pettae adalah 29,3^o C, sedangkan kelembapannya mencapai 74,7%. Berdasarkan hasil pengukuran tersebut, maka dapat dikatakan bahwa jamur yang terdapat di Situs Leang Pettae hidup nyaman. Suhu ruang di dalam Leang Pettae yang berkisar 29^o C-30^o C masih termasuk dalam suhu optimum pertumbuhan jamur. Upaya yang dapat disarankan adalah menjaga kelembapan di bawah 65% agar jamur tidak tumbuh dengan cepat. Oleh karena itu, diperlukan rekayasa ventilasi buatan yang tidak menyalahi kaidah arkeologi.

Kondisi yang hampir sama juga terjadi di berbagai gua prasejarah, misalnya di gua yang termasuk Warisan Dunia UNESCO yakni, Altamira di Spanyol dan Lascaux di Prancis. Bagian dalam gua yang jauh dari mulut gua memiliki suhu rendah, sehingga koloni mikroorganisme seperti jamur

berkembang biak dengan baik. Menjaga suhu merupakan salah satu upaya yang dilakukan di gua-gua tersebut ([Jurado et al., 2009](#)).

Faktor lingkungan lain yang perlu dijaga agar jamur tidak berkembang biak atau meminimalisir pertumbuhannya adalah polusi udara. Polusi udara yang terjadi terutama dalam bentuk debu. Debu di alam sesungguhnya merupakan partikel zat kimia padat yang terbentuk akibat kekuatan alami (mekanis) dari benda atau bahan baik organik maupun anorganik ([Suma'mur, 2009](#)). Debu yang mengandung berbagai zat kimia masuk ke dalam ruang gua melalui hembusan angin, lalu terjadi kontaminasi dengan jamur pada kelembapan antara 25-75%. Pada kondisi kelembapan ini terjadi peningkatan pertumbuhan jamur ([Fitria et al., 2008](#)). Dalam konteks situs gua prasejarah, debu dapat membentuk deposit di dinding gua dan menjadi sumber nutrisi bagi pertumbuhan jamur.

Udara polutan yang mempengaruhi Situs Leang Pettae berasal dari pabrik semen dan marmer, peternakan ayam, kotoran kelelawar, dan kotoran burung. Polutan industri semen mengandung zat-zat kimia berbahaya, seperti nitrogen oksida, sulfur oksida, karbon monoksida, dan partikulat ([Duppa et al., 2020](#)). Polutan yang ditimbulkan oleh industri didominasi oleh debu yang mempengaruhi kualitas udara di lingkungan sekitarnya. Polutan juga berpotensi menyebabkan penyakit *silicosis* pada manusia, yakni penyakit dengan gejala sesak napas disertai batuk-batuk tanpa dahak, bahkan pada stadium berat dapat mengakibatkan kegagalan kerja jantung ([Hasibuan et al., 2015](#)). Sementara itu, polutan dari peternakan ayam, kotoran kelelawar, dan kotoran burung mengandung zat kimia berbahaya seperti nitrogen dan fosfat ([Rosa & Elvrida, 2017](#); [Sari et al., 2016](#)).

Partikel debu polutan dari industri dan dari hewan dapat masuk terbawa angin dan menempel pada permukaan dinding gua. Debu yang melekat pada dinding gua akan menjadi nutrisi jamur dan menyebabkan kerusakan gambar cadas. Upaya pencegahan yang perlu dilakukan instansi terkait adalah menegakkan regulasi untuk memindahkan atau melarang industri semen dan marmer di sekitar situs gambar cadas. Begitu pula dengan usaha peternakan ayam yang banyak terdapat di perkampungan dekat dengan situs perlu ditata ulang. Selain itu, juga perlu upaya memindahkan koloni kelelawar dan burung yang hidup di dalam gua atau mencegah kelelawar dan burung masuk ke dalam gua. Berdasarkan pengamatan di lapangan, kelelawar dan burung banyak yang singgah ke dalam kompleks Taman Prasejarah Leang-Leang, khususnya Leang Pettae, karena lingkungan sekitarnya masih terjaga. Sementara itu, gua atau habitat lain di sekitarnya sudah banyak yang berubah dengan perluasan permukiman, perladangan, dan persawahan. Upaya pencegahan kelelawar dan burung memasuki ruang gua Leang Pettae dapat dilakukan dengan memasang jaring di depan atau mulut gua.

Kondisi yang perlu diwaspadai terhadap jamur dari genus *Paecilomyces* adalah kemampuannya bertahan hidup meski pada keadaan ruang yang kering dan udara yang tidak bergerak. Bila ada faktor dari lingkungan di luar gua yang menyebabkan naiknya kelembapan seperti hujan atau udara lembab, maka pertumbuhan jamur juga akan meningkat. Begitu pula jika terdapat udara yang bergerak baik di dalam gua maupun udara yang datang dari luar gua. Hal ini disebabkan jamur merupakan organisme *heterotof* yang memerlukan bahan organik dari luar untuk kebutuhan nutrisinya. Debu di dalam gua yang mengandung kotoran hewan atau pembusukan tanaman yang terangkut dengan adanya udara bergerak di dalam gua, akan menempel pada

gambar cadas dan menjadi sumber makanan bagi jamur. Apalagi dengan adanya udara bergerak (angin) dari luar yang masuk ke dalam gua dan membawa berbagai polutan industri, peternakan, pupuk, pestisida pertanian, serta polutan lainnya, akan semakin menyuburkan pertumbuhan jamur dalam gua.

Mengingat gua Leang Pettae merupakan salah satu objek utama tujuan wisata di Taman Prasejarah Leang-Leang, maka juga perlu perhatian khusus dari instansi terkait seperti Balai Pelestarian Cagar Budaya Sulawesi Selatan dan Dinas Pariwisata Kabupaten Maros. Faktor aktivitas pengunjung yakni, gerak langkah di dasar gua, keringat yang menetes, tangan yang menyentuh dinding gua dan gambar, serta nafas yang mengeluarkan karbondioksida, sangat berpotensi menyumbang pembiakan cepat jamur.

Hal-hal tersebut di atas juga pernah terjadi pada gua prasejarah Altamira di Spanyol dan Lascaux di Prancis. Diketahui bahwa terjadi peningkatan pertumbuhan mikroorganisme pada dinding gua dan gambar cadas yang ada di dalamnya setelah gua tersebut dibuka sebagai objek wisata umum. Kedatangan para pengunjung atau para wisatawan menyebabkan batuan dinding gua cenderung menerima mikroorganisme apapun yang datang dari pengunjung meliputi spora udara dari luar, semua arthropoda (berbagai jenis serangga, laba-laba, dan lipan), debu, dan sedimen tanah yang terbawa di sepatu. Mikroorganisme mengalami proses biogeokimia yang kemudian menutupi atau menyerang gambar cadas di dinding-dinding gua prasejarah. Eksperimen terbaru yang dilakukan pada tahun 2007, menunjukkan perkembangan pesat dari pertumbuhan mikroorganisme, khususnya jamur pada dinding, langit-langit, dan galeri gua ([Jurado et al., 2009](#)). Menurut penelitian Bastian dan kawan-kawan jenis jamur yang banyak menyerang gua-gua prasejarah di Spanyol adalah dari spesies *Fusarium solani*. Jenis jamur yang sama juga dilaporkan terdapat pada sedimen gua-gua prasejarah di Slovakia, Inggris, Amerika, dan India ([Bastian et al., 2010](#)).

Berdasarkan hasil pemantauan pertumbuhan jamur di Situs Leang Pettae pada bulan Juli hingga Oktober 2020 (setahun sejak pengambilan sampel), proses kerusakan tidak terlihat secara jelas. Hasil pengamatan menunjukkan kondisi gambar cadas dan kerusakan masih sama dengan ketika pengambilan sampel dilakukan. Hal ini dapat disebabkan karena pengaruh polusi dan kontak manusia yang sangat berkurang. Memasuki masa pandemi Covid-19 sejak sekitar bulan Maret 2020, terjadi gangguan pada aktivitas produksi pertambangan, terhentinya aktivitas peternakan ayam di dekat situs, dan ditutupnya Taman Prasejarah Leang-Leang. Hasil pemantauan ini mungkin belum menunjukkan suatu hasil yang pasti. Selain jangka waktu pengamatan yang pendek, juga masih diperlukan penelitian yang lebih mendalam. Meskipun demikian, diharapkan kondisi seperti akhir tahun 2020 yang lalu dapat menjadi indikator positif dalam rangka upaya pelestarian gambar cadas di Situs Leang Pettae.

KESIMPULAN

Mikroorganisme merupakan salah satu penyebab kerusakan gambar cadas di Situs Leang Pettae, Maros. Penyebab kerusakan terlihat dalam bentuk lapisan endapan warna putih di sekitar dan pada gambar cadas. Penelitian berhasil mengidentifikasi mikroorganisme yang berasal dari lapisan endapan putih, yakni jamur (*fungi*) dari genus *Paecilomyces*. Kerusakan gambar cadas

terjadi karena jamur dari genus ini termasuk cepat berkembang terutama pada keadaan lingkungan yang lembab dan mudah sekali menerima polutan dari luar. Jamur jenis ini juga menghasilkan enzim protease yang dapat berpengaruh pada unsur organik gambar cadas dan sekitarnya.

Saran pengendalian terkait pelestarian gua dan gambar cadas adalah dengan melakukan kontrol lingkungan gua skala mikro dan makro seperti suhu, kelembapan, angin, hujan, dan sinar matahari. Faktor lain yang dapat disarankan untuk pelestarian adalah mencegah polusi udara dari industri semen, industri marmer, peternakan, dan kotoran hewan di dalam gua. Selain itu, berdasarkan pengalaman pelestarian gua prasejarah di Spanyol, perlu dipertimbangkan untuk membuat kebijakan yang melarang pengunjung masuk ke dalam gua, mengingat ruang di dalam Situs Leang Pettae tidak luas. Pembuatan media pengganti misalnya berupa papan informasi lengkap di luar gua atau di ruang informasi khusus dapat dilakukan tanpa mengurangi aspek petualangan bagi pengunjung. Alternatif lain adalah dengan membuat replika gua yang mirip agar pengunjung tetap dapat menikmati keasliannya.

Penelitian mengenai jamur secara umum dan genus *Paecilomyces* secara khusus perlu dikembangkan lebih jauh dengan metode yang lebih canggih. Berdasarkan perbandingan dengan penelitian jamur di situs gua prasejarah lain misalnya di Cina dan di Eropa, menghasilkan temuan jamur tidak hanya dari genus *Paecilomyces*. Bahkan sejumlah penelitian memperlihatkan bahwa genus *Paecilomyces* dapat diidentifikasi hingga spesies. Penelitian mendetail diperlukan untuk penyusunan kebijakan pelestarian gua dan gambar cadas yang lebih komprehensif dan tentunya memerlukan sarana, prasarana, serta dana yang tidak sedikit.

PERNYATAAN PENULIS

Para penulis adalah kontributor bersama artikel ini; R. Cecep Eka Permana terutama berkontribusi pada kajian gambar cadas dan penelitian terdahulu di Sulawesi Selatan; Moh. Habibi berkontribusi pada kajian mikrobiologi; dan Edy Gunawan berkontribusi pada kajian pelestarian cagar budaya. Artikel ini telah dibaca dan disetujui oleh seluruh penulis. Urutan pencantuman nama penulis dalam artikel ini telah berdasarkan kesepakatan seluruh penulis. Artikel ini adalah publikasi dari Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi (PTUPT) DIKTI 2019 dan 2020 berjudul "Preservasi dan Konservasi Gambar Cadas Indonesia Studi Kasus Goa Prasejarah di Kawasan Karst Maros-Pangkep Sulawesi Selatan" dengan nomor kontrak: NKB-1697/UN2.R3.1/HKP.05.00/2019. Para penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan yang terkait dengan artikel ini, dan tidak ada pendanaan yang mempengaruhi isi dan substansi dari artikel ini. Para penulis mematuhi aturan Hak Cipta yang ditetapkan oleh Berkala Arkeologi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Para penulis menghaturkan banyak terima kasih kepada Direktur Riset dan Pengembangan UI yang telah mempercayai kami untuk melakukan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada Dekan dan Manajer Riset Fakultas Ilmu Pengetahuan Budaya Universitas Indonesia, Kepala Balai Arkeologi Sulawesi Selatan, Kepala Balai Pelestarian Cagar Budaya Provinsi Sulawesi Selatan, Kepala Balai Konservasi Borobudur, serta pihak-pihak lain yang telah membantu kelancaran kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- 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), 223–227. <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. xin, Geria, I. M., Sulistyarto, P. H., Sardi, R., & Brumm, A. (2019). Earliest hunting scene in prehistoric art. *Nature*, 576(7787), 442–445. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1806-y>
- Barnett, H. L., & Hunter, B. B. (1972). *Illustrated genera of imperfect fungi*. Burgess Publishing Company.
- Bastian, F., Jurado, V., Nováková, A., Alabouvette, C., & Saiz-Jimenez, C. (2010). The microbiology of Lascaux Cave. *Microbiology*, 156(3), 644–652. <https://doi.org/10.1099/mic.0.036160-0>
- Bednarik, R. (2003). *Rock art conservation*. International Federation RockArt Organization.
- Duppa, A., Daud, A., & Bahar, B. (2020). Kualitas udara ambien di sekitar industri semen Bosowa Kabupaten Maros. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Maritim*, 3(1), 86–92. <https://doi.org/10.30597/jkmm.v3i1.10296>
- Fitria, L., Wulandari, R. A., Hermawati, E., & Susanna, D. (2008). Kualitas udara dalam ruang perpustakaan universitas x ditinjau dari kualitas biologi, fisik, dan kimiawi. *Makara, Kesehatan*, 12(2), 76–82.
- Glover, I. C. (1976). Ulu Leang Cave, Maros: A preliminary sequence of past pleistocene cultural developments in South Sulawesi. *Archipel*, 11(1), 113–154. https://www.persee.fr/doc/arch_0044-8613_1976_num_11_1_1271
- Glover, I. C. (1981). Leang Burung 2: An upper paleolithic rock shelter in South Sulawesi. *Modern Quaternary Research in Southeast Asia*, 6, 1–38.
- Hasibuan, F., Warsito, & Suciayati, S. W. (2015). Simulasi model dispersi polutan gas dan partikulat molekul pada pabrik semen dengan menggunakan software Matlab 7.12. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 03(02), 142–150.
- Inglis, P. W., & Tigano, M. S. (2006). Identification and taxonomy of some entomopathogenic *Paecilomyces* spp. *Genetics and Molecular Biology*, 29(1), 132–136.
- Jurado, V., Nova, A., Alabouvette, C., & Saiz-Jimenez, C. (2009). The fungal colonisation of rock art caves: Experimental evidence. *Naturwissenschaften*, 96, 1027–1034.
- MacDonald, B. L., Stalla, D., He, X., Rahemtulla, F., Emerson, D., Dube, P. A., Maschmann, M. R., Klesner, C. E., & White, T. A. (2019). Hunter-gatherers harvested and heated microbial biogenic iron oxides to produce rock art pigment. *Scientific Reports*, 9(1), 17070. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53564-w>
- Mitova, M., Iliev, M., & Groudeva, V. (2015). Identification of *Bacillus* strains isolated from rock paintings in Magoura Cave, Bulgaria. *Journal of BioScience & Biotechnology, Special Ed*, 303–306.
- Moreno-Gavira, A., Huertas, V., Dianez, F., Sanchez-Mountesinos, B., & Santos, M. (2020). *Paecilomyces* and its importance in the biological control of agriculture pests and diseases. *Plant*, 9, 1746.
- Mulvaney, D. J., & Soejono, R. P. (1970). [The Australian-Indonesian archaeological expedition to Sulawesi](#). *Asian Perspective*, XIII, 163–179.
- Nucci, M., & Anaissie, E. J. (2009). Hyalohyphomycosis. In & M. A. P. Elias J.

- Anaissie, Michael R. McGinnis (Ed.), *Clinical Mycology* (Second, hal. 309–327). Churchill Livingstone.
- Nur, M. (2017). Analisis nilai penting 40 gua prasejarah di Maros, Sulawesi Selatan. *Jurnal Konservasi Cagar Budaya*, 11(1), 64–73. <https://doi.org/10.33374/jurnalkonservasicagarbudaya.v11i1.171>
- Permana, R. C. E. (2009). Rock art in South Sulawesi (Indonesia) and their conservation issues. *The 23th Conference on International Cooperation in Conservation 2009*.
- Permana, R. C. E. (2014). *Gambar tangan gua-gua prasejarah Pangkep-Maros Sulawesi Selatan*. Wedatama Widya Sastra.
- Rosa, B., & Elvrida. (2017). Kajian efektivitas pemberian pupuk guano dan biochar terhadap produksi dan serapan hara NPK tanaman padi. *Jurnal Agrotek Lestari*, 4(2), 71–79.
- Said, A. M., Ramli, M., & Sumantri, L. (Ed.). (2007). *Direktori potensi wisata budaya di kawasan karst Maros-Pangkep Sulawesi Selatan Indonesia*. Balai Pelestarian Peninggalan Purbakala Makassar.
- Samidi. (1986). *Laporan konservasi lukisan perahu/sampan di Gua Sumpang Bitu (tahap awal) dan konservasi lukisan babi rusa di Gua Pattae Kere (penyelesaian)*.
- Samson, R. A. (1974). *Paecilomyces and some allied Hyphomycetes*. Centraalbureau voor Schimmelcultures.
- Sari, K. M., Pasigai, A., & Wahyudi, I. (2016). Pengaruh pupuk kandang ayam terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman kubis bunga (*Brassica oleracea* var. *Bathytis* L.) pada Oxic Dystrudepts Lembantongoa. *e-J. Agrotekbis*, 4(2), 151–159.
- Soejono, R. P., & Leirissa, R. Z. (Ed.). (2009). *Sejarah nasional Indonesia I (Edisi mutakhir)*. PN Balai Pustaka.
- Suhartono, Y. (2012). Faktor-faktor penyebab kerusakan lukisan gua prasejarah di Maros Pangkep dan upaya penanganannya. *Jurnal Konservasi Cagar Budaya Borobudur*, 6, 14–25. <http://repository.kemdikbud.go.id/4083/>
- Suhartono, Y., Atmaja, Y., & Lambang, R. P. (2008). *Studi konservasi lukisan gua prasejarah di Maros dan Pangkep*.
- Suma'mur, P. (2009). *Higene perusahaan dan kesehatan kerja*. Sagung Seto.