

Fungal Resistance of Canvas and Dluwang in Humid Tropics

Septiyana Baroroh* & Lontar Sauh Tantarlia

Program Studi Konservasi Seni, Fakultas Seni Rupa dan Desain, Institut Seni Indonesia Yogyakarta, Bantul, Indonesia

Article History

Received : June 03th, 2026

Revised : July 16th, 2026

Accepted : July 28th, 2026

*Corresponding Author:

Septiyana Baroroh, Program Studi Konservasi Seni, Fakultas Seni Rupa dan Desain, Institut Seni Indonesia Yogyakarta, Bantul, Indonesia; Email:

septiyana.baroroh@isi.ac.id

Abstract: Canvas and dluwang are cellulose-based painting supports that differ in material composition and surface characteristics, resulting in different susceptibilities to fungal biodeterioration. This study evaluated fungal colonization dynamics on canvas and dluwang using *Trichoderma* sp., a cellulolytic fungus commonly associated with deterioration of organic cultural materials. Sterile canvas and dluwang were placed on Potato Dextrose Agar (PDA) colonized by *Trichoderma* sp. and incubated at room temperature under a relative humidity of >70% for 28 days. Fungal growth was assessed every seven days using a semi-quantitative surface coverage categorization (0%, <25%, 25–50%, 50–75%, >75%). The results revealed different colonization patterns between the two materials. Dluwang showed rapid colonization, increasing from 25–50% at day 7 to >75% by day 14 and remaining fully colonized thereafter. In contrast, canvas remained at <25% colonization throughout the incubation period. These findings highlight the importance of considering material characteristics and resistance to fungal biodeterioration in preventive conservation and support the development of effective conservation strategies for organic artistic supports in tropical environments.

Keywords: Biodeterioration; Canvas; Dluwang.

Pendahuluan

Benda seni berbahan organik memiliki karakter material yang rentan mengalami proses kerusakan atau deteriorasi (Bangstad, 2021; Geweely, 2023; Palla et al., 2020; Poyatos et al., 2018). Salah satu agen utama deteriorasi bahan organik adalah aktivitas biologis mikroorganisme, terutama fungi (Paolino et al., 2024; Russo & Palla, 2023). Pertumbuhan fungi dapat memicu kerusakan fisik material benda seni seperti pelapukan, penurunan kekuatan material, serta kerusakan secara kimiawi akibat aktivitas enzimatik dan metabolik yang menghasilkan senyawa asam dan pigmen yang dapat menyebabkan perubahan warna, munculnya bercak noda dan bau (Russo & Palla, 2023). Pada lingkungan tropis, resiko kerusakan akibat fungi dapat meningkat karena kondisi lingkungan yang lembap dan hangat sangat mendukung pertumbuhan dan aktivitas fungi (Sala-Luis et

al., 2024; Zalar et al., 2023; Zmeu & Bosch-Roig, 2022).

Pemahaman mengenai interaksi antara fungi dan substrat organik sangat penting untuk menjelaskan dinamika deteriorasi. Salah satu media seni berbasis material organik yang banyak digunakan di Indonesia adalah kanvas. Kanvas memiliki struktur yang kompleks, terdiri dari lapisan tipis berbahan anorganik dan organik. Bagian tekstil pada kanvas merupakan bahan organik yang sangat rentan ditumbuhi fungi (Gadd et al., 2024). Di sisi lain, Masyarakat Indonesia, khususnya di Jawa dan Madura juga mengenal adanya kertas tradisional yang disebut daluang atau dluwang. Dluwang banyak digunakan sebagai media tulis dalam arsip kuno, bahan pembuatan wayang beber serta media seni lukis. Dluwang juga dikenal dengan sebutan *paper mulberry* dan terbuat dari kulit pohon saeh (*Broussonetia papyrifera*) yang mengandung serat selulosa sehingga mendukung pertumbuhan fungi

(Oetari et al., 2016; Padarik et al., 2016). Kedua material ini berpotensi menjadi substrat pertumbuhan fungi karena kandungan bahan organik. Karakteristik yang berbeda diantara keduanya memungkinkan tingkat ketahanan biologis yang tidak sama terhadap serangan fungi.

Penelitian sebelumnya melaporkan bahwa genus *Trichoderma* merupakan salah satu fungi yang berpotensi sebagai salah satu agen perusak material kanvas (Văcar et al., 2022). *Trichoderma* juga ditemukan pada permukaan dluwang, kertas dan juga arsip kuno yang ditumbuhi fungi (Oetari et al., 2016; Paolino et al., 2024). *Trichoderma* dapat menghasilkan enzim selulase dan hemiselulase yang dapat mendegradasi material benda seni dan menjadikannya agen biodeteriorasi potensial pada media seni berbahan organik (Paolino et al., 2024).

Meskipun beberapa penelitian mengenai identifikasi fungi penyebab deteriorasi dan mekanisme degradasinya telah banyak diteliti, studi yang membandingkan ketahanan biologis antara media seni tradisional seperti dluwang dan media modern seperti kanvas masih terbatas, terutama dalam konteks lingkungan tropis. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis dan membandingkan ketahanan biologis kanvas dan dluwang terhadap pertumbuhan fungi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran awal mengenai karakteristik ketahanan biologis kanvas dan dluwang terhadap pertumbuhan fungi *Trichoderma*, serta menjadi acuan awal dalam pemilihan bahan seni yang lebih tahan lama di lingkungan tropis. Lebih jauh lagi, penelitian ini juga dapat berkontribusi terhadap strategi konservasi berbasis kearifan lokal.

Bahan dan Metode

Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan rancangan eksperimen laboratorium terkontrol untuk membandingkan tingkat ketahanan kanvas dan dluwang terhadap kolonisasi fungi *Trichoderma* sp. Seluruh rangkaian penelitian dilaksanakan di Laboratorium Riset Mikrobiologi, Fakultas Sains dan Teknologi Terapan (FAST), Universitas Ahmad Dahlan, Indonesia, pada periode Agustus

hingga Oktober 2025. Percobaan disusun menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang melibatkan dua jenis material, yaitu kanvas dan dluwang, dengan masing-masing perlakuan diulang sebanyak tiga kali sebagai replikasi.

Pengambilan Sampel

Sampel kanvas yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari Toko B-Thavo, sebuah toko perlengkapan seni yang berlokasi di Bangunharjo, Kecamatan Sewon, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia. Bahan tekstil yang digunakan sebagai penyangga kanvas berupa kain katun blacu dengan merek dagang Marcoto tanpa proses pemutihan. Permukaan tekstil tersebut dilapisi dengan lapisan dasar (gesso) yang tersusun atas campuran lem putih berbasis polivinil asetat (PVAc) dan cat akrilik putih. Dengan demikian, material kanvas yang digunakan terdiri atas substrat tekstil berbasis selulosa (katun blacu merek Marcoto) yang dilapisi oleh lapisan permukaan berbasis polimer sintesis yang mengandung PVAc dan polimer akrilik.

Sampel dluwang diperoleh dari Museum Wayang Beber Sekartaji yang berlokasi di Sumbermulyo, Kecamatan Bambanglipuro, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia. Dluwang diproduksi secara tradisional oleh perajin museum menggunakan kulit bagian dalam tanaman saeh atau galuga/ glugu (*Broussonetia papyrifera*). Proses pembuatannya meliputi pengelupasan kulit luar secara mekanis, perendaman kulit bagian dalam selama 1–2 hari, pemukulan manual hingga mencapai ketebalan yang diinginkan, fermentasi dengan membungkus bahan menggunakan daun pisang selama sekitar tiga hari, pengeringan di bawah sinar matahari, serta pemolesan permukaan menggunakan cangkang kerang. Seluruh proses dilakukan tanpa penggunaan bahan kimia untuk pulping maupun aditif sintesis.

Karakteristik fisik material dianalisis melalui pengukuran ketebalan menggunakan jangka sorong dengan ketelitian $\pm 0,01$ mm dan pengukuran kadar air dengan metode gravimetri dengan mengeringkan sampel dalam oven pada suhu 105°C hingga mencapai berat konstan.

Isolasi dan Identifikasi Fungi

Isolat *Trichoderma* yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari koloni fungi yang

tumbuh pada penyangga lukisan berbahan kanvas koleksi Program Studi Konservasi Seni, Institut Seni Indonesia Yogyakarta. Koloni fungi tampak berwarna hijau tua pada permukaan depan maupun belakang kanvas, serta ditemukan pula pada bagian rangka kayu penegang (*frame*) (Gambar 1).

Proses isolasi dilakukan dengan metode usap (*swab*) menggunakan *cotton swab* yang telah dibasahi larutan NaCl steril 0,85%. Sampel hasil usapan kemudian diinokulasikan pada media *Potato Dextrose Agar* (PDA) dan diinkubasi pada suhu ruang (27–30 °C) dengan kelembapan relatif (RH) di atas 70%. Hifa yang tumbuh aktif pada tepi koloni dipindahkan ke media PDA baru untuk memperoleh kultur murni. Tahapan pemurnian dilakukan secara berulang hingga diperoleh satu isolat murni.

Karakterisasi makroskopis meliputi pengamatan terhadap warna koloni, tekstur permukaan, dan pola pertumbuhan. Identifikasi mikroskopis dilakukan menggunakan preparat yang diwarnai dengan larutan *lactophenol cotton blue* dan diamati menggunakan mikroskop cahaya.

Uji Ketahanan terhadap Kolonisasi Fungi

Pengujian ketahanan material terhadap kolonisasi fungi dilakukan dengan menumbuhkan suspensi fungi secara merata pada permukaan media *Potato Dextrose Agar* (PDA) sesuai langkah-langkah penelitian sebelumnya (Chu et al., 2024) dengan beberapa modifikasi. Batang kaca padat steril ditempatkan di atas permukaan media sebagai penyangga untuk mencegah terjadinya difusi nutrisi secara langsung ke dalam material uji. Sampel kanvas dan dluwang yang telah disterilisasi serta dipotong dengan ukuran 2 × 4 cm kemudian diletakkan di atas penyangga kaca tersebut. Kondisi ini memungkinkan kolonisasi terjadi melalui pertumbuhan hifa di udara (*aerial hyphae*) tanpa kontak langsung antara material dan media nutrisi, sehingga lebih merepresentasikan kondisi kontaminasi fungi yang terjadi melalui udara.

Evaluasi pertumbuhan fungi difokuskan pada tingkat dan pola perkembangan hifa di permukaan material. Kolonisasi ditentukan berdasarkan proporsi area permukaan material yang ditutupi oleh fungi yang terlihat dibandingkan dengan luas total sampel. Penilaian

dilakukan secara deskriptif dengan mengelompokkan tingkat perkembangan koloni ke dalam lima kategori, yaitu kategori 0 menunjukkan tidak adanya kolonisasi, kategori 1 menunjukkan kolonisasi awal dengan luas penutupan kurang dari 25% permukaan sampel, kategori 2 menunjukkan kolonisasi sedang dengan luas penutupan antara 25–50%, kategori 3 menunjukkan kolonisasi tinggi dengan luas penutupan antara 50–75%, dan kategori 4 menunjukkan kolonisasi penuh dengan luas penutupan lebih dari 75% permukaan sampel.

Seluruh sistem diinkubasi pada suhu ruang dengan kelembapan relatif tinggi (>70%) selama 28 hari. Pengamatan dilakukan secara berkala pada hari ke-0, 7, 14, 21, dan 28. Setiap perlakuan dilakukan dalam tiga ulangan dengan prosedur aseptik untuk meminimalkan risiko kontaminasi silang.

Hasil dan Pembahasan

Karakter Fisik Material

Sampel kanvas dan dluwang yang akan diuji sebelumnya dikarakterisasi secara fisik untuk mengetahui ketebalan dan kadar airnya. Tabel 1. Menunjukkan nilai ketebalan dan kadar air kanvas dan dluwang yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 1. Karakter Fisik Kanvas dan Dluwang

No	Material	Ketebalan (mm)	Kadar Air (%)
1.	Kanvas	0.35	1.59
2.	Dluwang	0.20	2.07

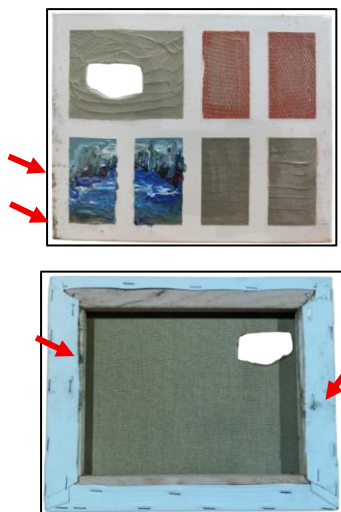
Isolasi dan Identifikasi Fungi

Koloni fungi yang ditemukan pada permukaan kanvas yang terkontaminasi menunjukkan warna hijau tua hingga hijau kehitaman. Pada bagian koloni yang aktif tumbuh, tampak struktur granular halus yang menonjol di permukaan (timbul) (Gambar 1). Selain itu, pada beberapa area permukaan kanvas terlihat bercak noda kecokelatan yang diduga dihasilkan oleh aktivitas metabolisme fungi.

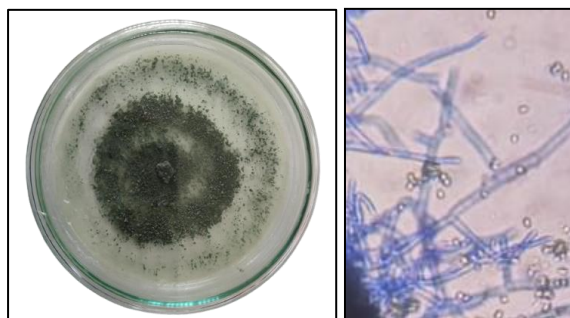
Setelah diisolasi dan ditumbuhkan pada medium PDA, koloni menunjukkan pertumbuhan yang cepat. Pada tahap awal pertumbuhan, koloni berwarna putih dengan tekstur menyerupai kapas akibat dominasi pertumbuhan hifa muda. Seiring bertambahnya waktu inkubasi, warna koloni berubah secara

bertahap menjadi hijau tua hingga hijau kehitaman, terutama pada bagian tengah koloni (Gambar 2a). Perubahan warna ini mengindikasikan fase sporulasi dengan pembentukan konidia yang melimpah. Sementara itu, bagian tepi koloni tetap berwarna lebih terang yang mengindikasikan zona pertumbuhan hifa yang masih aktif.

Pengamatan mikroskopis menggunakan pewarnaan *lactophenol cotton blue* secara mikroskopis (Gambar 2b.) menunjukkan bahwa isolat memiliki miselium hialin yang bersekat (*septate*) dengan percabangan yang cukup banyak dan membentuk jaringan hifa yang rapat. Hifa tampak memanjang dengan dinding halus. Karakteristik berupa hifa hialin bersekat, percabangan yang melimpah merupakan ciri yang umum dijumpai pada genus *Trichoderma*, sehingga hasil pengamatan ini mendukung identifikasi isolat sebagai *Trichoderma* sp.



Gambar 1. Pertumbuhan fungi tumbuh pada kanvas



Gambar 2. Struktur morfologi fungi yang diisolasi dari kanvas. (a) makroskopis (b) mikroskopis

Ketahanan Kanvas dan Dluwang terhadap *Trichoderma*

Hasil pengamatan visual yang dievaluasi secara semi-kuantitatif menunjukkan adanya perbedaan yang jelas dalam dinamika kolonisasi *Trichoderma* pada kanvas dan dluwang (Tabel 2 dan Tabel 3). Pada hari ke-0, tidak ditemukan pertumbuhan fungi pada kedua material. Setelah 7 hari inkubasi, dluwang telah mencapai kategori kolonisasi sedang, yang ditandai dengan perluasan hifa yang menutupi sebagian besar permukaan material. Sebaliknya, kanvas masih berada pada tahap kolonisasi awal dengan pertumbuhan fungi yang terbatas pada area tepi. Pada hari ke-14, dluwang telah mencapai kolonisasi penuh ditandai oleh penutupan permukaan oleh miselium yang padat serta munculnya sporulasi yang jelas. Sementara itu, kanvas tetap berada pada kategori kolonisasi awal dengan pertumbuhan yang hanya sedikit meluas dan masih terlokalisasi pada area tertentu. Pada hari ke-21 dan ke-28, dluwang secara konsisten menunjukkan kolonisasi penuh yang mengindikasikan proliferasi fungi yang berkelanjutan dan saturasi permukaan material. Sebaliknya, kanvas tidak menunjukkan perkembangan yang berarti dan tetap berada pada tahap kolonisasi awal hingga akhir masa inkubasi. Pertumbuhan fungi hanya ditemukan pada sebagian kecil area tepi tanpa perluasan yang signifikan. Pola pengamatan ini konsisten pada seluruh ulangan biologis, menunjukkan adanya perbedaan dalam dinamika kolonisasi antara kedua material pada lingkungan yang sama dimana dluwang memiliki kerentanan yang lebih tinggi terhadap kolonisasi *Trichoderma* dibandingkan kanvas.

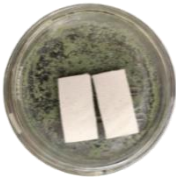
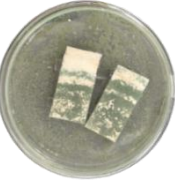
Tabel 2. Kategori kolonisasi *Trichoderma* sp. pada kanvas dan dluwang

Bahan	Hari ke-0	Hari ke-7	Hari ke-14	Hari ke-21	Hari ke-28
Kanvas	0	1	1	1	1
Dluwang	0	2	4	4	4

Keterangan kategori:

- 0 = Tidak ada kolonisasi
- 1 = Kolonisasi awal (<25% permukaan)
- 2 = Kolonisasi sedang (25–50%)
- 3 = Kolonisasi tinggi (50–75%)
- 4 = Kolonisasi penuh (>75%)

Tabel 3. Uji ketahanan kanvas dan dluwang terhadap *Trichoderma*

Bahan	Dokumentasi				
	Hari ke-0	Hari ke-7	Hari ke-14	Hari ke-21	Hari ke-28
Kanvas					
Dluwang					

Pembahasan

Ketahanan Kanvas dan Dluwang terhadap *Trichoderma*

Hasil pengamatan (Tabel 1.) menunjukkan bahwa dluwang memiliki kerentanan yang lebih tinggi terhadap kolonisasi *Trichoderma* dibandingkan dengan kanvas. Perbedaan ini memperkuat dugaan bahwa karakteristik material turut berperan dalam menentukan tingkat kerentanan terhadap biodeteriorasi. Dluwang tersusun hampir seluruhnya oleh serat lignoselulosa alami dari kulit dalam tanaman *Broussonetia papyrifera*, yang menyediakan sumber karbon dan nutrisi yang dapat dimanfaatkan oleh fungi (Oetari et al., 2016). Sebaliknya, permukaan kanvas dalam penelitian ini dilapisi oleh campuran polivinil asetat (PVAc) dan cat akrilik yang membentuk lapisan polimer sintesis sehingga membatasi akses langsung fungi terhadap substrat selulosa pada kain dasar. Fungi memiliki kemampuan menghasilkan enzim selulolitik yang memungkinkan kolonisasi dan degradasi material berbasis selulosa, termasuk kertas, tekstil, dan artefak budaya yang berbahan material dari tumbuhan lainnya (Kujović et al., 2024; Padarik et al., 2016; Sterflinger & Piñar, 2013). Dengan demikian, tingginya kolonisasi pada dluwang kemungkinan disebabkan oleh aksesibilitas substrat selulosa yang lebih tinggi dibandingkan pada kanvas yang terlindungi oleh lapisan polimer.

Selain itu, penggunaan batang kaca sebagai penyangga dalam sistem pengujian memastikan bahwa kolonisasi terjadi terutama

melalui pertumbuhan hifa di udara (*aerial hyphal growth*) dan bukan akibat difusi nutrisi secara langsung dari media PDA. Dengan demikian, perbedaan tingkat kolonisasi yang diamati lebih merefleksikan respons intrinsik masing-masing material terhadap serangan fungi dibandingkan pengaruh media kultur. Temuan ini sejalan dengan konsep bahwa komposisi kimia, struktur permukaan, dan aksesibilitas substrat organik merupakan faktor utama yang memengaruhi kerentanan material warisan budaya terhadap biodeteriorasi oleh fungi (Sterflinger & Piñar, 2013; Văcar et al., 2022).

Pengaruh Karakter Material terhadap Pertumbuhan Fungi

Kanvas yang digunakan dalam penelitian ini tersusun atas tekstil katun blacu berbasis selulosa yang dilapisi lapisan gesso yang terdiri atas lem putih berbasis polivinil asetat (PVAc) dan cat akrilik. Lapisan tersebut berfungsi sebagai *size layer* dan *ground layer*. *Size layer* berperan melindungi serat tekstil dari sifat asam cat, sedangkan *ground layer* berfungsi menutup pori-pori permukaan, menghasilkan tekstur yang lebih beragam, serta menyediakan dasar yang sesuai untuk aplikasi cat (Schwarz et al., 2023). Sebaliknya, dluwang tersusun sepenuhnya dari serat selulosa alami yang berasal dari kulit bagian dalam tanaman *Broussonetia papyrifera*. Pada Museum Wayang Beber Sekartaji, dluwang diproduksi melalui serangkaian proses mekanis yang meliputi pengupasan kulit, perendaman, pemukulan hingga mencapai ketebalan yang diinginkan, fermentasi dengan pembungkusan menggunakan daun pisang, pengeringan di

bawah sinar matahari, serta pemolesan menggunakan cangkang kerang tanpa melalui pulping kimia. Akibatnya, sebagian besar komponen penyusun serat, terutama selulosa dan hemiselulosa tetap dipertahankan (Permadi, 2023) sehingga material masih memiliki sifat alami yang mendukung kolonisasi fungi.

Selulosa merupakan polisakarida kompleks yang tersusun atas rantai panjang unit glukosa dan berfungsi sebagai sumber karbon serta energi yang mudah dimanfaatkan oleh fungi. Selain itu, sifat hidrofiliknya memungkinkan penyerapan air dan pembentukan lingkungan mikro yang mendukung pertumbuhan mikroorganisme (Marinho, 2025). Meskipun kedua material sama-sama mengandung selulosa, perbedaan aksesibilitas substrat menyebabkan respons kolonisasi yang berbeda. Pada dluwang, serat selulosa terekspos sehingga hifa dapat berinteraksi langsung dengan jaringan serat. Sebaliknya, pada kanvas, lapisan akrilik berfungsi sebagai penghalang fisik yang mengurangi penetrasi hifa menuju substrat selulosa, sehingga pertumbuhan fungi kemungkinan hanya terjadi pada permukaan atau melalui retakan-retakan mikro. Stabilitas kimia polimer sintesis yang lebih tinggi dibandingkan material organik alami (Kujović et al., 2024) juga diduga turut meningkatkan ketahanan kanvas terhadap biodeteriorasi.

Selain komposisi kimia, karakter fisik material diduga turut memengaruhi dinamika kolonisasi fungi. Sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1, dluwang memiliki ketebalan sebesar 0,20 mm, sedangkan kanvas memiliki ketebalan 0,35 mm. Struktur dluwang yang lebih tipis memungkinkan terjadinya keseimbangan kelembapan yang lebih cepat serta memudahkan penetrasi hifa ke dalam matriks serat. Tabel 1. juga menunjukkan bahwa kadar air dluwang (2,07%) sedikit lebih tinggi dibandingkan kanvas (1,59%). Meskipun perbedaannya relatif kecil, variasi kadar air yang terbatas sekalipun dapat memengaruhi aktivitas metabolik fungi secara signifikan karena ketersediaan air merupakan faktor utama yang mengendalikan aktivitas enzimatik, perkecambahan spora, dan pertumbuhan hifa (Marinho, 2025; Sterflinger & Piñar, 2013).

Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa kerentanan material terhadap biodeteriorasi diduga merupakan hasil interaksi

antara komposisi kimia, keberadaan lapisan pelindung, dan karakteristik fisik seperti ketebalan serta kadar air. Kombinasi faktor-faktor tersebut menyebabkan dluwang lebih mudah dikolonisasi *Trichoderma* dibandingkan kanvas pada kondisi pengujian ini.

Mekanisme Enzimatik Biodeteriorasi oleh Fungi

Kolonisasi fungi pada kanvas dan dluwang berkaitan erat dengan kemampuan fungi dalam mendegradasi material berbasis selulosa. Proses ini berlangsung melalui produksi enzim ekstraseluler, terutama endoglukanase dan β -glukosidase, yang bekerja secara sinergis menghidrolisis rantai selulosa menjadi gula sederhana sebagai sumber karbon dan energi bagi fungi (Kujović et al., 2024; Văcar et al., 2022). Selain enzim selulolitik, fungi juga mampu memproduksi hemiselulase dan berbagai enzim oksidatif yang mampu mendegradasi hemiselulosa serta komponen matriks penyusun serat tumbuhan sehingga mempercepat proses biodeteriorasi (Kujović et al., 2024).

Trichoderma, yang digunakan dalam penelitian ini, merupakan salah satu fungi selulolitik yang dilaporkan sering mengolonisasi material warisan budaya berbasis selulosa (Oetari et al., 2016; Padarik et al., 2016; Văcar et al., 2022). Kemampuan serupa juga dimiliki oleh genus *Aspergillus* dan *Penicillium* yang mampu menghasilkan kompleks enzim selulase untuk mendegradasi serat selulosa pada berbagai material organik (Kujović et al., 2024; Oetari et al., 2016). Dengan demikian, biodeteriorasi oleh fungi dapat difahami sebagai proses biokimia yang melibatkan aktivitas enzimatik dalam memanfaatkan komponen penyusun material sebagai sumber nutrisi, sehingga secara bertahap menyebabkan kerusakan pada material organik.

Aktivitas enzim-enzim yang berlangsung secara berkelanjutan menyebabkan penurunan derajat polimerisasi dan kristalinitas mikrofibril selulosa, mengurangi kekuatan tarik dan kohesi struktural jaringan serat sehingga material menjadi lebih rapuh dan mudah robek (Kujović et al., 2024). Kondisi tersebut mempermudah penetrasi hifa ke bagian yang lebih dalam dan mempercepat proses biodeteriorasi material (Kujović et al., 2024; Zalar et al., 2023).

Pada material pendukung karya seni, aktivitas enzimatik tidak hanya berdampak pada

kolonisasi permukaan, tetapi juga berpotensi menyebabkan kerusakan struktural yang lebih. Kerusakan serat dapat menurunkan stabilitas mekanik material, memicu ketidakstabilan dimensi, deformasi permukaan, serta perubahan distribusi tegangan pada sistem penyangga karya seni (Kujović et al., 2024). Perubahan tersebut pada akhirnya dapat memengaruhi integritas lapisan dasar (*ground layer*) maupun lapisan cat di atasnya (Văcar et al., 2022).

Selain mendegradasi selulosa dan hemiselulosa, fungi juga mampu menghasilkan asam organik sebagai produk metabolisme yang dapat menurunkan pH, mempercepat degradasi kimiawi, memengaruhi stabilitas pigmen, serta memicu terbentuknya noda kecokelatan (*foxing*) pada material berbasis selulosa (Kujović et al., 2024). Pada genus *Trichoderma*, kerusakan visual dapat diperparah oleh sekresi pigmen ekstraseluler, seperti *sorbicillinoids*, yang menghasilkan noda kekuningan permanen pada permukaan material (Văcar et al., 2022).

Dalam penelitian ini, kolonisasi *Trichoderma* berlangsung lebih cepat pada dluwang dibandingkan kanvas. Perbedaan tersebut diduga dipengaruhi oleh aksesibilitas substrat yang lebih tinggi pada dluwang, sedangkan lapisan *size* dan *ground* pada kanvas membatasi kontak awal antara hifa maupun enzim dengan serat selulosa. Kondisi tersebut diduga mengurangi penetrasi hifa dan memperlambat perluasan koloni pada permukaan kanvas (Kujović et al., 2024; Zalar et al., 2023). Temuan ini sejalan dengan berbagai penelitian yang menunjukkan bahwa karakteristik permukaan material merupakan faktor penting yang memengaruhi dinamika kolonisasi fungi pada material karya seni (Kujović et al., 2024; Zalar et al., 2023).

Pada lingkungan tropis yang lembap, kombinasi suhu yang relatif tinggi dan kelembapan yang tinggi menciptakan kondisi optimum bagi pertumbuhan serta aktivitas metabolik fungi, sehingga meningkatkan potensi biodeteriorasi pada material organik (Ventorino et al., 2023). Suhu dalam kisaran 20–30 °C mendukung produksi enzim ekstraseluler, seperti selulase, protease, dan lipase, yang mempercepat degradasi komponen organik penyusun material (Văcar et al., 2022; Zalar et al., 2023). Ketersediaan air memfasilitasi reaksi hidrolisis

komponen serat selulosa pada kanvas dan dluwang yang menyebabkan pelemahan struktural material serta pertumbuhan hifa yang lebih cepat (Oetari et al., 2016; Văcar et al., 2022). Selain itu, pada lingkungan dengan kelembapan tinggi, kondensasi yang terbentuk pada permukaan material dapat menyediakan air bebas yang memicu perkecambahan spora dan mendukung penetrasi hifa ke dalam retakan atau pori-pori material (Văcar et al., 2022). Kondisi tersebut dapat mempercepat pelemahan struktural sekaligus meningkatkan risiko kolonisasi dan kerusakan jangka panjang pada benda warisan budaya.

Implikasi bagi Konservasi dan Pemilihan Material di Lingkungan Tropis

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa komposisi material, karakteristik permukaan, dan keberadaan lapisan pelindung turut berperan dalam menentukan kerentanan material terhadap biodeteriorasi fungi di lingkungan tropis yang lembap. Dluwang, yang tidak memiliki lapisan pelindung, menunjukkan kolonisasi *Trichoderma* yang lebih cepat dibandingkan kanvas. Temuan ini mengindikasikan bahwa material berbasis selulosa dengan substrat yang terekspos lebih rentan terhadap kolonisasi fungi pada kondisi tropis yang lembap.

Implikasi tersebut menegaskan pentingnya penerapan konservasi preventif pada material organik di wilayah tropis, terutama pada material yang memiliki karakteristik serupa dluwang, yaitu tidak dilapisi lapisan pelindung. Pengendalian kondisi lingkungan mikro, khususnya suhu dan kelembapan relatif, serta inspeksi berkala terhadap koleksi merupakan strategi konservasi preventif yang penting untuk meminimalkan risiko biodeteriorasi pada material organik (Sterflinger & Piñar, 2013; Ventorino et al., 2023).

Selain memberikan implikasi praktis, penelitian ini juga memberikan informasi awal mengenai ketahanan biologis kanvas dan dluwang terhadap kolonisasi *Trichoderma* pada kondisi lembap di lingkungan tropis. Perbedaan dinamika kolonisasi yang diamati sejalan dengan penelitian-penelitian sebelumnya bahwa sifat intrinsik material turut berperan dalam menentukan respons terhadap serangan fungi. Informasi ini dapat menjadi pertimbangan dalam pemilihan material, penyusunan strategi

penyimpanan, serta penentuan prioritas konservasi pada karya seni berbasis selulosa di wilayah tropis.

Penelitian ini juga membuka peluang bagi pengembangan strategi peningkatan ketahanan material organik terhadap biodeteriorasi, seperti penggunaan pelapis pelindung (*protective coatings*), modifikasi karakteristik permukaan, pemanfaatan antimikroba yang aman bagi koleksi, serta optimalisasi pengendalian lingkungan. Kajian lebih lanjut terhadap berbagai jenis material, mikroorganisme, dan kondisi penyimpanan diperlukan untuk mendukung pengembangan strategi konservasi preventif yang lebih efektif bagi karya seni berbahan organik di lingkungan tropis.

Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa ketahanan kanvas dan dluwang terhadap kolonisasi *Trichoderma* sp. dipengaruhi oleh kombinasi komposisi material, keberadaan lapisan pelindung permukaan, dan karakteristik fisiknya. Hasil utama memperlihatkan bahwa dluwang lebih rentan terhadap kolonisasi fungi dibandingkan kanvas, yang diduga berkaitan dengan ketiadaan lapisan pelindung serta sifat fisiknya yang lebih mendukung pertumbuhan fungi. Hasil penelitian ini menegaskan bahwa upaya konservasi karya seni berbahan organik perlu memperhatikan karakteristik material serta ketahanannya terhadap biodeteriorasi. Tindakan konservasi preventif melalui pengendalian lingkungan dan pemantauan kondisi koleksi secara berkala penting untuk dilakukan guna meningkatkan kelestarian karya, terutama terhadap material yang rentan. Sebagai sebuah studi awal, penelitian ini memiliki keterbatasan dalam hal diversitas mikroorganisme uji dan metode penilaian kolonisasi yang dilakukan secara semi-kuantitatif. Selain itu, pengujian dilakukan dalam kondisi laboratorium terkontrol sehingga hasilnya perlu ditafsirkan secara hati-hati dan tidak dapat langsung diekstrapolasikan ke kondisi museum atau lingkungan lapangan tanpa validasi lebih lanjut. Penelitian mendatang perlu melibatkan lebih banyak spesies fungi, jenis material, serta parameter fisikokimia dan pengujian in situ untuk memperkuat dasar pemilihan bahan dan strategi konservasi preventif material di lingkungan tropis.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Sains, dan Teknologi melalui Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Institut Seni Indonesia Yogyakarta, yang telah memberikan dukungan pendanaan melalui DIPA ISI Yogyakarta tahun 2025. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada rekan-rekan dosen dan mahasiswa di Program Studi Konservasi Seni, Fakultas Seni Rupa dan Desain, ISI Yogyakarta, atas bantuan, dukungan, serta kerja sama selama proses penelitian ini berlangsung.

Referensi

- Bangstad, T. R. (2021). Pollution and permanence: museum repair in toxic worlds. *Museums and Social Issues*, 15(1–2), 13–27. <https://doi.org/10.1080/15596893.2022.2083356>
- Chu, S., Lin, L., & Tian, X. (2024). Analysis of *Aspergillus niger* isolated from ancient palm leaf manuscripts and its deterioration mechanisms. *Heritage Science*, 12(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s40494-024-01320-3>
- Gadd, G. M., Fomina, M., Pinzari, F., Gadd, G. M., Fomina, M., & Pinzari, F. (2024). Fungal biodeterioration and preservation of cultural heritage, artwork, and historical artifacts: extremophily and adaptation. *Geomicrobiology*, 88(1), 1–62. <https://doi.org/https://doi.org/10.1128/mmbr.00200-22>
- Geweely, N. S. (2023). New frontiers review of some recent conservation techniques of organic and inorganic archaeological artefacts against microbial deterioration. *Frontiers in Microbiology*, 14(1146582), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1146582>
- Kujović, A., Gostinčar, C., Kavkler, K., Govedić, N., Gunde-Cimerman, N., & Zalar, P. (2024). Degradation Potential of Xerophilic and Xerotolerant Fungi Contaminating Historic Canvas Paintings. *Journal of Fungi*, 10(1). <https://doi.org/10.3390/jof10010076>

- Marinho, E. (2025). Sustainable Chemistry for the Environment Cellulose: A comprehensive review of its properties and applications. *Sustainable Chemistry for the Environment*, 11(December 2024), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.scenv.2025.100283>
- Oetari, A., Susetyo-Salim, T., Sjamsuridzal, W., Suherman, E. A., Monica, M., Wongso, R., Fitri, R., Nurlaili, D. G., Ayu, D. C., & Teja, T. P. (2016). Occurrence of fungi on deteriorated old dluwang manuscripts from Indonesia. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 114, 94–103. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.05.025>
- Padarik, E. T., Oetari, A., Fitri, R., Susetyo-Salim, T., & Sjamsuridzal, W. (2016). Diversity of fungi from old Dluwang manuscripts from Mertasinga, Cirebon. *AIP Conference Proceedings*, 1729. <https://doi.org/10.1063/1.4946971>
- Palla, F., Bruno, M., Mercurio, F., Tantillo, A., & Rotolo, V. (2020). Essential oils as natural biocides in conservation of cultural heritage. *Molecules*, 25(3), 1–11. <https://doi.org/10.3390/molecules25030730>
- Paolino, B., Sorrentino, M. C., & Pacifico, S. (2024). Greener solutions for biodeterioration of organic-media cultural heritage: where are we? *Heritage Science*, 12(1), 1–20. <https://doi.org/10.1186/s40494-024-01442-8>
- Permadi, T. (2023). Rekonstruksi Pembuatan Daluang Gulungan dan Salin Ulang Teks Khotbah. In W. Indiarti & Suyami (Eds.), *Khazanah pernaknahan Nusantara: Rekam jejak dan perkembangan kontemporer* (pp. 43–72). BRIN. <https://doi.org/10.55981/brin.909.c770>
- Poyatos, F., Morales, F., Nicholson, A. W., & Giordano, A. (2018). Physiology of biodeterioration on canvas paintings. *Journal of Cellular Physiology*, 233(4), 2741–2751. <https://doi.org/10.1002/JCP.26088>
- Russo, R., & Palla, F. (2023). Plant Essential Oils as Biocides in Sustainable Strategies for the Conservation of Cultural Heritage. *Sustainability*, 15(11), 1–16. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su15118522>
- Sala-Luis, A., Oliveira-Urquiri, H., Bosch-Roig, P., & Martín-Rey, S. (2024). Eco-Sustainable Approaches to Prevent and/or Eradicate Fungal Biodeterioration on Easel Painting. *Coatings*, 14(1), 1–34. <https://doi.org/10.3390/coatings14010124>
- Schwarz, C., McClure, I., & Coddington, J. (Eds.). (2023). *Conserving Canvas*. Getty Conservation Institute. <https://doi.org/https://doi.org/10.2307/jj.6142260>
- Sterflinger, K., & Piñar, G. (2013). Microbial deterioration of cultural heritage and works of art — tilting at windmills? *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97(22), 9637–9646. <https://doi.org/10.1007/s00253-013-5283-1>
- Văcar, C. L., Mircea, C., Pârvu, M., & Podar, D. (2022). Diversity and Metabolic Activity of Fungi Causing Biodeterioration of Canvas Paintings. *Journal of Fungi*, 8(6). <https://doi.org/10.3390/jof8060589>
- Ventorino, V., Storia, A. La, Robertiello, A., Corsi, S., Romano, I., Sannino, L., & Pepe, O. (2023). Fungal Biodeterioration and Preservation of Miniature Artworks. *Journal of Fungi*, 9(1054), 1–12. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/jof9111054>
- Zalar, P., Graf Hriberšek, D., Gostinčar, C., Breskvar, M., Džeroski, S., Matul, M., Novak Babič, M., Čremožnik Zupančič, J., Kujović, A., Gunde-Cimerman, N., & Kavkler, K. (2023). Xerophilic fungi contaminating historically valuable easel paintings from Slovenia. *Frontiers in Microbiology*, 14(November). <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1258670>
- Zmeu, C. N., & Bosch-Roig, P. (2022). Risk analysis of biodeterioration in contemporary art collections: the poly-material challenge. *Journal of Cultural Heritage*, 58(October), 33–48. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2022.09.014>