

## STUDI KEANEKARAGAMAN KAPANG PADA PROSES BIODETERIORASI BATUAN CANDI MENDUT

### *A STUDY OF MOLD DIVERSITY IN THE DETERIORATION PROCESS OF MENDUT TEMPLE*

Fellary Pangesti<sup>1</sup>, Bernadetta Octavia<sup>1</sup>, Nahar Cahyandaru<sup>2</sup>  
Universitas Negeri Yogyakarta<sup>1</sup>, Balai Konservasi Borobudur<sup>2</sup>  
e-mail: fellarypangesti.2017@student.uny.ac.id

#### ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui genus kapang yang berpotensi menyebabkan kerusakan serta mengetahui jenis biodeteriorasi yang terjadi pada batuan Candi Mendut. Sebagai bangunan yang terletak pada lapangan terbuka dan terbuat dari jenis batuan andesit yang berporous (Ekarini, 2019), Candi Mendut rentan terkena berbagai masalah yang berkaitan dengan persoalan kerusakan dan pelapukan. Beberapa jenis organisme yang dapat menjadi penyebab kerusakan batuan diantaranya adalah bakteri, *cyanobacteria*, ragi, beberapa jenis alga dan jamur. Dengan adanya kemampuan kapang dalam menyebabkan kerusakan batuan candi tersebut, maka perlu adanya deteksi dan juga karakterisasi kapang yang berperan dalam proses biodeteriorasi pada batuan Candi Mendut. Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah deskriptif kualitatif. Penelitian diawali dengan survey sampling berdasarkan pada syarat: kenampakan miselium, spora, bercak warna, dan kerusakan substrat. Identifikasi kapang dilakukan secara konvensional berdasarkan pengamatan makroskopik dan mikroskopik pada kapang. Hasil dari karakterisasi dan identifikasi kemudian diidentifikasi dengan metode profile matching. Hasil penelitian menunjukkan kapang kontaminan yang berpotensi sebagai penyebab kerusakan pada batuan Candi Mendut adalah *Penicillium* (37,5%), *Aspergillus* (21,25%), *Acremonium* (28,75%), *Scopulariopsis* (15,3%), *Chrysonilia* (3,75 %), *Mucor* (1,25 %) dan *Arthrinium* (1,25 %). Genus *Acremonium*, *Mucor* dan *Arthrinium* berpotensi dalam kerusakan biologis yang terjadi pada batuan, serta genus *Aspergillus*, *Penicillium*, dan *Scopulariopsis* memicu terjadinya biofilm hitam pada batuan dan membentuk noda hitam pada batuan. Sedangkan genus *Chrysonilia* tidak berpotensi menyebabkan kerusakan pada batuan candi.

**Kata Kunci** Biodeteriorasi, Kapang, Batuan candi Candi Mendut

#### ABSTRACT

This research attempts to know the genus of moulds which potentially cause damage on Mendut temple and to find the types of the biodeterioration. As a building that located in an open field and made of building materials with a pivoting andesite rock type (Ekarini, 2019), Mendut Temple is prone to various problems related to experiencing damage and weathering. Several types of organisms that can cause the damage include bacteria, cyanobacteria, yeast, some types of algae and fungi. With the ability to cause damage to the temple stone, it is necessary to detect and also characterize the molds that play a role in the biodeterioration process in Mendut Temple stone. By using qualitative descriptive as type of research, the research begins on survey sampling based on some prerequisites: visibility of mycelium, spore, color spot, and substrate damage. In order to identify the mold, macroscopic and microscopic observation is carried on the mold. The result of the research shows that contaminant moulds having responsible of potentially causing damage on the stone of Candi Mendut are *Penicillium* (37,5%), *Aspergillus* (21,25%), *Acremonium* (28,75%), *Scopulariopsis* (15,3%), *Chrysonilia* (3,75 %), *Mucor* (1,25 %) and *Arthrinium* (1,25 %). Genus *Acremonium*, *Mucor* and *Arthrinium* are responsible in biodeterioration that occurs on the stone. Furthermore, Genus *Aspergillus*, *Penicillium*, and *Scopulariopsis* forms black biofilm and black spot on the stone. On the other side, *Chrysonilia* does not cause any damage on the stone of the temple.

**Keywords:** Biodeterioration, Molds, Stone of Mendut Temple

## PENDAHULUAN

Berdasarkan data sensus penduduk yang dilakukan oleh Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2020 yang merujuk pada hasil sensus penduduk yang dilakukan pada tahun 2010, diketahui bahwa Indonesia memiliki sekitar 1.340 suku bangsa. Hal ini tentu saja berpengaruh terhadap ragam kebudayaan nasional. Keberadaan kebudayaan lokal Indonesia berdampak pada esensi kebudayaan Indonesia di mata negara lain. Salah satu budaya lokal yang cukup dikenal oleh bangsa lain adalah dalam bidang seni. Seni yang dimaksudkan biasa digunakan untuk menampilkan hasil budaya yang berupa seni tari, seni musik, seni drama, dan seni rupa. Salah satu warisan budaya dalam bidang seni rupa yang menjadi perhatian adalah candi.

Candi Mendut bersama dengan Candi Borobudur dan Candi Pawon beserta kawasannya merupakan kawasan cagar budaya tingkat nasional yang berpredikat sebagai warisan budaya dunia (*World Heritage*) yang ditetapkan oleh UNESCO sejak tahun 1991 dengan nama *Borobudur Temple Compounds*. Berdasarkan pidato Presiden pada rapat terbatas yang dilaksanakan pada September tahun 2020, Candi Borobudur akan dijadikan sebagai destinasi wisata super prioritas bersama dengan empat destinasi lainnya yaitu Labuan Bajo, Danau Toba, Mandalika dan Likupang. Kebijakan tersebut tentu saja berpengaruh secara langsung terhadap beberapa candi di sekitar Candi Borobudur, salah satunya adalah Candi Mendut.

Sebagai bangunan yang terletak pada lapangan terbuka dan terbuat dari bahan bangunan dengan jenis batuan andesit yang berporous (Ekarini, 2019), Candi Mendut rentan terkena berbagai masalah yang berkaitan dengan persoalan kerusakan dan pelapukan. Faktor yang berperan pada terjadinya kerusakan batuan menurut Laporan Akhir Rencana Pelestarian Candi Mendut (2017) adalah faktor internal dan faktor eksternal. Faktor internal diantaranya adalah struktur bangunan dan jenis batu, sedangkan faktor eksternal adalah suhu dan kelembaban, penyinaran matahari, air, udara dan pengaruh emisi kendaraan, asap dupa dalam bilik, manusia dan pertumbuhan organisme. Beberapa jenis organisme yang dapat menjadi penyebab kerusakan batuan diantaranya adalah bakteri, *cyanobacteria*, ragi, beberapa jenis alga dan jamur.

Di antara semua jenis mikroorganisme, kapang memainkan peran penting dalam kerusakan material batuan. Kapang dapat berkoloni pada permukaan batu dengan melakukan penetrasi hifa pada substrat batuan serta mengeluarkan enzim, asam dan pigmen organik serta anorganik yang dapat menyebabkan terjadinya pelapukan biologis yang berperan dalam perubahan substrat dan juga perubahan warna pada batuan. Adanya aktivitas biokorosif berupa ekskresi asam organik dapat membentuk mineral merupakan salah satu bentuk interaksi antara hifa dengan substrat batuan yang menjadi salah satu penyebab terjadinya biofilm (Warscheid, 2000). Pengendapan mineral sekunder (karbonat dan oksalat) pada batuan yang telah terbentuk selama kolonisasi jamur dan pelarutan mineral membentuk kerak pada permukaan batuan dan pengendapan mineral di sekitar hifa progresif dapat menimbulkan celah dan retakan (Fomina, 2010). Dengan adanya kemampuan kapang dalam menyebabkan kerusakan batuan candi tersebut, maka perlu adanya deteksi dan juga karakterisasi kapang yang berperan dalam proses biodeteriorasi pada batuan Candi Mendut.

## METODE

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November 2020–Januari 2021 di Laboratorium Balai Konservasi Borobudur. Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif kualitatif dengan objek penelitian adalah kapang yang diisolasi dari batuan Candi Mendut dengan subjek penelitian kapang yang diisolasi pada batuan Candi Mendut yang mengalami kerusakan. Teknik pengambilan sampel pada penelitian ini adalah *purposive sampling* dimana pengambilan sampel berdasarkan pada syarat dan kriteria tertentu. Kriteria yang digunakan dalam pengambilan sampel ini adalah kenampakan miselium, spora, bercak

warna putih atau kekuningan dan kerusakan pada substrat. Metode yang digunakan untuk pengambilan sampel pada batuan candi adalah dengan melakukan *swab* menggunakan *swab steril* yang mana metode ini dipilih untuk memperoleh hifa atau spora pada kapang tanpa merusak struktur substrat batuan Candi Mendut. Metode *swab* ini dilakukan dengan cara mengambil apusan batu yang menunjukkan adanya bercak putih dengan menggunakan cotton *swab steril*.

### Prosedur Penelitian

Prosedur yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya adalah: pengambilan sampel di Bilik Candi Mendut pada sisi sambungan batuan bagian selatan dan barat pintu masuk bilik Candi Mendut yang memenuhi kriteria pengambilan sampel kemudian dilanjutkan dengan sterilisasi alat dan media, pembuatan media untuk pertumbuhan kapang, isolasi kapang, subkultur kapang serta karakterisasi kapang.

### Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data diperoleh dari pengamatan kapang secara makroskopis dan mikroskopis disertai dengan identifikasi kapang. Pengamatan makroskopis yang dilakukan diantaranya adalah pengamatan pada warna yang didasarkan pada standar warna Faber Castell, tekstur koloni, radial furrow, zonasi (ada/tidak), *growing zone* (ada/tidak), *exudate drop* dan warna sebalik koloni. Sedangkan pengamatan mikroskopis dilakukan dengan pengamatan pada spora (seksual/aseksual), konidia (bentuk, ukuran), hifa (septum, ukuran), konidiofor (permukaan dinding, ukuran), vesikula (bentuk, ukuran), metula dan fialid dengan menggunakan mikroskop cahaya mulai dari perbesaran 20x hingga 1000x. Penggunaan standar warna Faber Castell sebagai dasar pengamatan warna koloni kapang karena standar warna Faber Castell menunjukkan pigmen warna yang beragam dan memiliki detail warna yang berkualitas tinggi. Penggunaan standar warna Faber Castell juga dilakukan pada penelitian yang dilakukan oleh Michelle (2012) dan Riadi (2020). Hasil pengamatan kemudian diidentifikasi dengan menggunakan metode *profile matching* yaitu dengan membandingkan hasil pengamatan karakter fenotip mikroskopis dan makroskopis kapang dengan beberapa buku rujukan seperti *Fungi: Identification* (Richard, 1997), *Illustrated Genera of Imperfect Fungi Fourth Edition* (Barnett & Hunter, 1998) dan penelitian terkait.

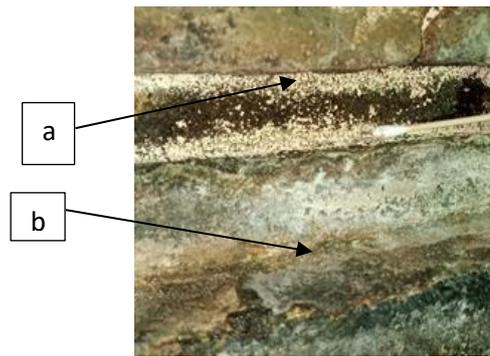
### Teknik Analisis Data

Data hasil karakterisasi kemudian diidentifikasi sampai pada tingkatan genus dan dibahas secara deskriptif sesuai dengan ciri-ciri berdasarkan buku identifikasi rujukan dan dilakukan analisis deskriptif mengenai peranan kapang yang telah diisolasi pada proses biodeteriorasi batuan Candi Mendut.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Isolasi dan Karakterisasi Kapang pada Batuan Candi Mendut

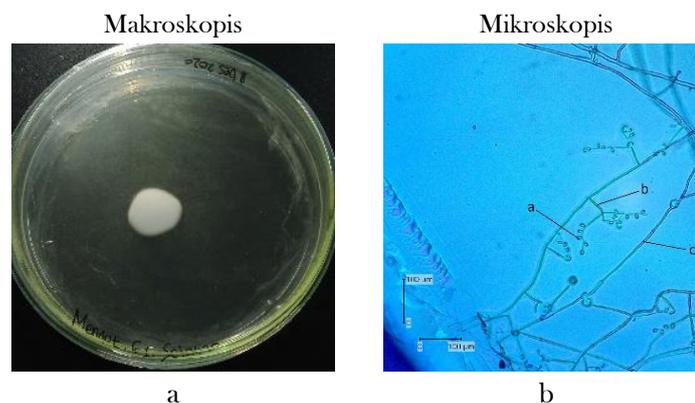
Pengambilan sampel kapang pada batuan Candi Mendut dilakukan secara *purposive sampling*, yaitu sampel yang diambil didasarkan pada pertimbangan tertentu, diantaranya adalah kenampakan miselium, spora, bercak warna dan kerusakan pada substrat (Sugiyono, 2013). Oleh karena itu peneliti berdasarkan metode *purposive sampling* kemudian melakukan seleksi dan pengambilan sampel pada beberapa titik yang ada pada bilik Candi Mendut yang telah diketahui mengalami kerusakan sesuai dengan syarat yang telah ditentukan. Untuk melihat sampel kerusakan batuan yang memenuhi beberapa syarat tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Bagian dinding bilik Candi Mendut yang terdapat (a) bercak warna putih dan (b) kerusakan substrat

Metode yang digunakan untuk pengambilan sampel pada batuan candi adalah dengan metode *swab* menggunakan *swab steril*. Metode ini dipilih untuk memperoleh hifa atau spora pada kapang tanpa merusak struktur substrat batuan Candi Mendut. Metode *swab* ini dilakukan dengan cara mengambil apusan batu yang menunjukkan adanya bercak putih dengan menggunakan *cotton swab steril*. *Cotton swab* yang telah dipenuhi apusan kemudian dimasukkan ke dalam wadah tertutup agar tetap steril. Selanjutnya sampel yang diperoleh kemudian dibawa ke Laboratorium Balai Konservasi Borobudur untuk kemudian diisolasi pada media CDA (*Czapek Dox Agar*) secara aseptis. Pemilihan CDA sebagai medium pertumbuhan isolat kapang karena diketahui bahwa media ini berperan dalam mendukung pertumbuhan miselium dan sporulasi yang baik (Gupta, 2014). Berdasarkan hasil isolasi, diketahui bahwa total isolat yang ditemukan adalah 80 isolat namun ada satu isolat yang tidak tumbuh sehingga total isolat yang tumbuh dan diidentifikasi adalah 79 isolat. Berdasarkan identifikasi dan karakterisasi diketahui terdapat 6 genus kapang kontaminasi yaitu *Penicillium*, *Aspergillus*, *Acremonium*, *Scopulariopsis*, *Chrysonilia*, *Mucor* dan *Arthrinium*.

a. *Acremonium*

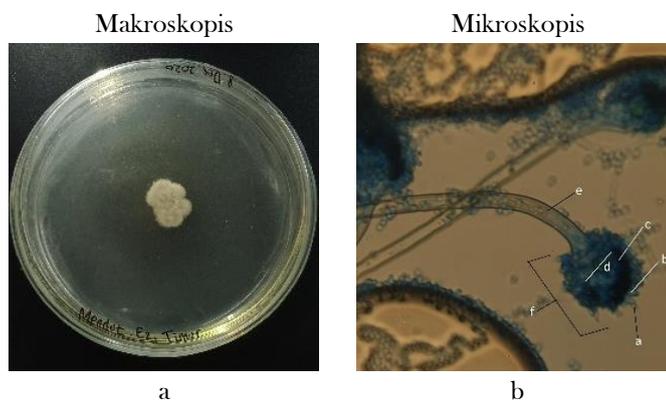


**Gambar 2.** a) Pengamatan makroskopos isolat kapang *Acremonium* (b) Pengamatan dengan perbesaran 1000X pewarnaan *lactophenol cotton blue*. a. konidia b. konidiofor c. hifa

Setelah dilakukan inkubasi selama 7 hari, berdasarkan pengamatan makroskopis *Acremonium* memiliki permukaan koloni granul berwarna *white* dengan warna sebalik koloninya adalah *ivory*, serta memiliki *growing zone* dan *exudate drop*. Menurut Gandjar

(1999) *Acremonium* memiliki permukaan koloni berwarna putih hingga merah muda dengan bentuk koloni seperti kapas dan agak basah. Sedangkan pengamatan mikroskopis struktur yang nampak pada pengamatan yang telah dilakukan adalah adanya hifa yang bercabang dan tidak memiliki garis melintang yang menunjukkan adanya septum antar sel. Hasil pewarnaan dengan menggunakan *lactophenol cotton blue* dapat mengalami perubahan warna menandakan kapang ini bersifat hialin, permukaan konidiofor halus dan bercabang, selain itu permukaan konidia halus dan berbentuk *elips silindris* pendek serta membentuk gugus seperti anggur. Menurut Ellis (2006) genus *Acremonium* memiliki permukaan hifa yang halus dan bersifat hialin, konidia bersel satu (*ameroconidia*) berbentuk elips atau silinder dan bergerombol pada bagian kepala berlendir pada puncak fialid. Selain itu genus ini tumbuh dengan baik pada suhu 28-30°C (Isnaini, 2012).

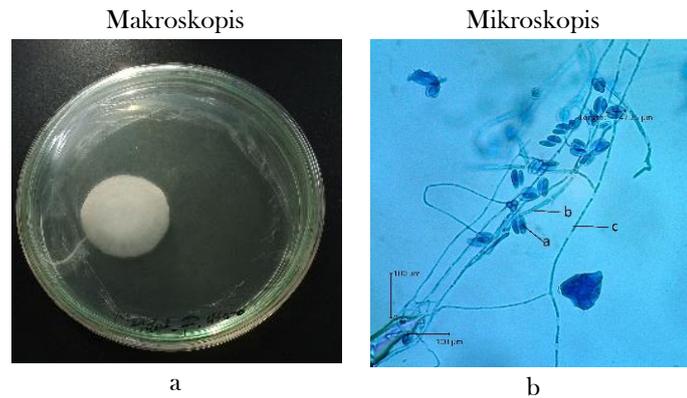
b. *Aspergillus*



**Gambar 3.** a) Pengamatan makroskopis isolat kapang *Aspergillus* (b) Pengamatan dengan perbesaran 1000X pewarnaan *lactophenol cotton blue*. a. konidia b. fialid c. metula d. vesikel e. konidiofor f. kepala konidia

Hasil pengamatan makroskopis pada genus *Aspergillus* setelah dilakukan inkubasi selama 7 hari menunjukkan bahwa genus ini memiliki permukaan koloni granul dengan warna permukaan *ivory & lemon*, warna sebalik koloni *light crome*, permukaan koloni granul terdapat zonasi serta memiliki *growing zone*. Sedangkan berdasarkan pengamatan mikroskopis diketahui bahwa hasil pewarnaan dengan menggunakan *lactophenol cotton blue* dapat mengalami perubahan warna menandakan kapang ini bersifat hialin. Selain itu pada pengamatan ini juga terlihat jelas bahwa bagian kepala konidia berbentuk radial. Struktur yang membentuk kepala konidia diantaranya adalah adanya fialid, vesikel dan metula. Konidia berbentuk *globose* membentuk rantai dengan permukaan yang kasar. Hal tersebut sesuai dengan Navi (1999) yang menyatakan bahwa terdapat genus *Aspergillus* memiliki warna koloni putih atau kekuningan, saat masih muda genus ini memiliki bentuk konidia yang bulat, namun seiring dengan bertambahnya usia konidia membelah menjadi beberapa kolom yang *compact* dengan permukaannya yang halus. Sedangkan vesikelnya biasanya berbentuk bulat atau *sub globose* dan terlihat subur di seluruh permukaan. Berdasarkan penelitian Mikasari (2015) diketahui bahwa genus *Aspergillus* dapat tumbuh pada suhu 6-60°C dan tumbuh secara optimal pada suhu 35- 38°C.

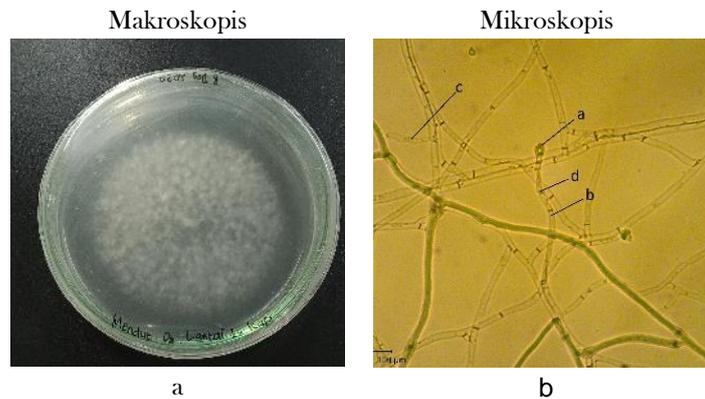
c. *Arthriniium*



**Gambar 4.** a) Pengamatan makroskopos isolat kapang *Arthriniium* (b) Pengamatan dengan perbesaran 1000X pewarnaan *lactophenol cotton blue*. a. konidia b. konidiofor c. hifa

Setelah dilakukan inkubasi selama 7 hari, berdasarkan pengamatan makroskopis diketahui bahwa *Arthriniium* memiliki warna permukaan koloni white, warna sebalik *ivory & white*, permukaan koloni granul terdapat *growing zone* serta memiliki *exudate drop*. Hal ini sesuai dengan Gandjar (1999) juga menyatakan bahwa genus *Arthriniium* ini memiliki miselium yang berwarna putih serta dapat menghasilkan pigmen berwarna merah pada agar. Sedangkan pada pengamatan mikroskopis diketahui bahwa genus ini memiliki konidiofor dengan permukaan yang halus dan terlihat memiliki septa dan hialin sedangkan bagian konidia berbentuk lentikular dengan warna hialin. Hal ini sesuai dengan Crous (2013) yang menyatakan bahwa kapang dengan genus *Arthriniium* memiliki konidia dengan bentuk bulat pada bagian permukaan dan terlihat lentikular jika dilihat dari sisi yang lain, bagian dinding permukaan konidia halus dan rapi.

d. *Chrysonilia*

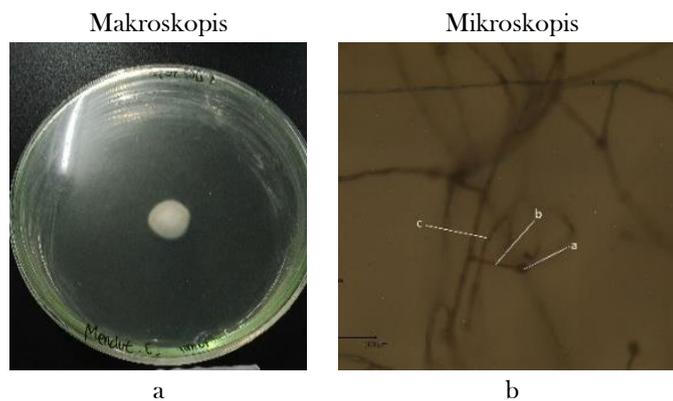


**Gambar 5.** a) Pengamatan makroskopos isolat kapang *Chrysonilia* (b) Pengamatan dengan perbesaran 1000X pewarnaan *lactophenol cotton blue*. a. konidia b. konidiofor c. fialid d. septa

Hasil pengamatan makroskopis genus *Chrysonillia* yang diperoleh setelah dilakukan setelah inkubasi selama 7 hari adalah memiliki warna permukaan koloni *white*, warna sebalik *white*, permukaan koloni *cotton*, serta memiliki *exudate drop*, pertumbuhan koloni menyebar memenuhi petridish dengan tekstur seperti kapas dengan hifa yang meninggi. Hal ini sesuai dengan teori Veronika (2015) yang menyatakan bahwa morfologi kapang

*Chrysonilia* adalah memiliki koloni putih ke abu-abuan, berbentuk bulat dan memenuhi *petridish* dan memiliki tekstur seperti kapas dengan hifa yang meninggi. Pada pengamatan mikroskopis genus ini diketahui struktur yang dapat teramati diantaranya adalah konidia, konidiofor, fialid, hifa dan juga septa. Berdasarkan pengamatan yang telah dilakukan hasil pewarnaan dengan menggunakan *lactophenol cotton blue* dapat mengalami perubahan warna menandakan kapang ini bersifat hialin. Gandjar (1999) menyatakan bahwa genus *Chrysonilia* memiliki hifa pembentuk konidia yang tegak, memiliki septa, memiliki dinding halus dan bercabang lateral yang membentuk rantai konidia. Selain itu genus ini juga memiliki kemampuan untuk tumbuh pada suhu 25-35°C.

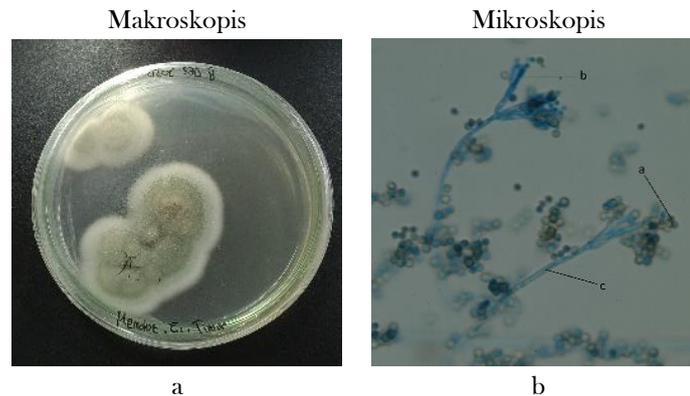
e. *Mucor*



**Gambar 6.** a) Pengamatan makroskopis isolat kapang *Mucor* (b) Pengamatan dengan perbesaran 1000X pewarnaan *lactophenol cotton blue*. a. konidia b. konidiofor c. hifa

Setelah dilakukan inkubasi selama 7 hari, berdasarkan pengamatan makroskopis diketahui bahwa genus *Mucor* memiliki warna permukaan koloni *white*, warna sebalik *white*, permukaan koloni granulasi terdapat *growing zone* serta memiliki *exudate drop*. Struktur yang nampak pada pengamatan mikroskopis ini diantaranya adalah adanya hifa, konidia dan konidiofor. Hifa tidak memiliki septa dan konidia berbentuk bulat. Hal tersebut didukung oleh Gandjar (1999) yang menyatakan bahwa genus ini memiliki koloni berwarna putih yang lama kelamaan akan berubah menjadi keabu-abuan. Serta memiliki konidia yang berbentuk bulat. Selain itu *Mucor* biasa ditemukan pada tanah, rerumputan, bulu burung, batuan dan kotoran hewan. Genus ini memiliki kemampuan untuk tumbuh pada suhu 5-20°C.

f. *Penicillium*

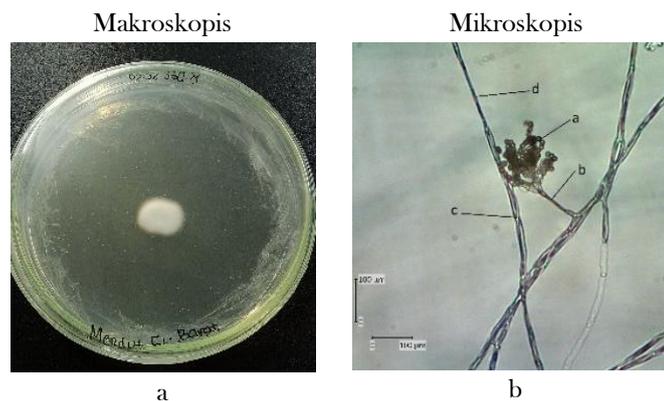


**Gambar 7.** a) Pengamatan makroskopis isolat kapang *Penicillium* (b) Pengamatan dengan perbesaran 1000X pewarnaan *lactophenol cotton blue*. a. konidia b. fialid c. konidiofor

Hasil pengamatan makroskopis genus *Penicillium* setelah dilakukan inkubasi selama 7 hari menunjukkan bahwa genus ini warna permukaan koloni *cedar green & white*, warna sebalik *vermillion, canary yellow & white*, permukaan koloni granul terdapat zonasi, *radial furrow, growing zones* serta memiliki *exudate drop*. Gandjar (1999) juga menyatakan bahwa genus *Penicillium* memiliki ciri makroskopis yang mana kapang jenis ini memiliki permukaan seperti beludru walau terkadang juga bisa seperti kapas, berwarna hijau kekuningan dan jika umur semakin menua maka warnanya akan semakin gelap. Sedangkan untuk ciri mikroskopis pada isolat yang telah diamati terlihat adanya hifa, konidia dan konidiofor, pada beberapa isolat ditemukan fialid dan juga metula. Pada saat dilakukan pengamatan pada bagian konidia terlihat bulat, sedangkan untuk fialid berbentuk silindris seperti botol. Hal ini juga didukung oleh teori (Barnet et al., 2006) yang menyatakan bahwa genus *Penicillium* memiliki konidiofor dengan sifatnya yang hialin dan memiliki cabang pada daerah ujung, selain itu diketahui bahwa konidia pada genus ini bersifat hialin dan berbentuk bulat atau bulat telur. Selain itu diketahui bahwa genus ini memiliki kemampuan untuk tumbuh pada suhu 25-30°C.

g. *Scopulariopsis*

Setelah dilakukan inkubasi selama 7 hari, berdasarkan pengamatan makroskopis diketahui bahwa genus *Scopulariopsis* memiliki warna permukaan koloni *ivory*, warna sebalik *dark sepia & cream*, permukaan granul, memiliki *exudate drop*. Hal ini sesuai dengan Campbell et al., (2013) yang menyatakan bahwa kapang dengan genus *Scopulariopsis* memiliki koloni yang memiliki tekstur lembut dan granul dengan sedikit velvet dengan warna yang pucat dan sedikit kecoklatan. Selain itu berdasarkan pengamatan mikroskopis kapang dengan genus *Scopulariopsis* diketahui memiliki untuk konidia berbentuk bulat, konidiofor yang sedikit pendek dan kasar serta memiliki percabangan pada bagian kepala konidiofor. Pewarnaan yang dilakukan pada genus ini dengan menggunakan *lactophenol cotton blue* mengakibatkan hifa *Scopulariopsis* mengalami perubahan warna menjadi biru, sehingga hifa pada genus ini termasuk dalam kategori hialin. Menurut Gandjar (1999) genus ini memiliki kemampuan untuk tumbuh pada suhu 24-30°C dengan suhu maksimum 37°C.



**Gambar 8.** a) Pengamatan makroskopis isolat kapang *Scopulariopsis* (b) Pengamatan dengan perbesaran 1000X pewarnaan *lactophenol cotton blue*. a. konidia b. konidiofor c. septa d. hifa

### Keanekaragaman dan Persebaran Kapang pada Batuan Candi Mendut

**Tabel 1.** Persebaran dan Persentase Genus Kapang

No.	Genus	Jumlah isolat	Titik pengambilan sampel							Persentase
			A	B	C	D	E	F	G	
1.	<i>Acremonium</i>	23							*	28,75%
2.	<i>Arthrinium</i>	1							*	1,25%
3.	<i>Aspergillus</i>	17			*					21,25%
4.	<i>Chrysonilia</i>	3				*				3,75%
5.	<i>Mucor</i>	1						*		1,25%
6.	<i>Penicillium</i>	30		*		*	*		*	37,50%
7.	<i>Scopulariopsis</i>	4	*							5%
8.	Tidak tumbuh	1								1,25%

Berdasarkan tabel di atas dapat diketahui bahwa genus *Penicillium* menempati dominasi tertinggi, hal tersebut dikarenakan genus ini ditemukan pada 4 titik dari total 7 titik pengambilan sampel dengan persentase 37,5%. Jika dibandingkan dengan persentase genus yang lain, *Penicillium* menempati posisi tertinggi dalam persebarannya. Pada saat pengambilan sampel suhu batuan pada titik pengambilan sampel menunjukkan suhu 26 °C. Menurut Gandjar (1999) genus ini memiliki kemampuan untuk tumbuh pada suhu 25-30°C. dengan begitu diketahui bahwa suhu batuan Candi Mendut merupakan lingkungan yang baik untuk pertumbuhan genus *Penicillium*. *Acremonium* menempati dominasi kedua setelah *Penicillium* dengan persentase 28,75%. Selanjutnya genus *Aspergillus* ketiga yang mendominasi dengan persentase 21,25%. Genus yang menempati dominasi keempat adalah genus *Scopulariopsis* dengan persentase 5% dan diikuti oleh genus *Chrysonilia* dengan persentase 3,75%. *Mucor* menempati dominasi terakhir dalam penelitian ini dengan persentase 1,25%. Pertumbuhan genus kapang yang terjadi pada batuan Candi Mendut tentu saja disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya adalah struktur batuan, kondisi lingkungan serta kemampuan genus kapang tersebut dalam bertahan dan menyesuaikan diri pada permukaan batuan. Selain itu kemampuan kapang dalam memproduksi asam organik juga berpengaruh terhadap kekuatan kapang untuk bertahan hidup pada permukaan batuan. Semakin tinggi kemampuannya untuk bertahan hidup dalam segala kondisi yang ada, maka

semakin tinggi pula persebaran pertumbuhannya pada batuan candi. Hal ini juga didukung oleh teori yang menyatakan bahwa apabila kondisi lingkungan pertumbuhan memungkinkan, pertumbuhan miselium kapang juga dapat berlangsung dengan cepat (Srikandi, 1989). Selain itu dalam beberapa penelitian terdahulu beberapa genus kapang juga ditemukan pada batuan, salah satunya penelitian yang dilakukan oleh Farooq (2015) mengenai kerusakan mikobial dari monumen batu Dharmarajika, Taxila.

### **Biodeteriorasi Batuan Candi Mendut**

Dengan usia Candi Mendut yang sangat tua tentu saja struktur bangunan candi ini juga mengalami berbagai permasalahan arkeologis. Permasalahan arkeologis yang terkait dengan keterawatan dan kerusakan bangunan Candi Mendut didasarkan pada faktor biologis, kimia, mekanis dan fisis. Berbagai gejala permasalahan arkeologis terjadi pada bagian dinding luar dan dinding dalam (bilik) candi. Beberapa faktor yang berperan pada keterawatan bangunan Candi Mendut diantaranya menurut Laporan Akhir Rencana Pelestarian Candi Mendut (2017) adalah faktor internal dan faktor eksternal. Faktor internal diantaranya adalah struktur bangunan dan jenis batu, sedangkan faktor eksternal adalah suhu dan kelembaban, penyinaran matahari, air, udara dan pengaruh emisi kendaraan, asap dupa dalam bilik, manusia dan pertumbuhan organisme. Beberapa jenis organisme yang dapat menjadi penyebab kerusakan batuan diantaranya adalah bakteri, *cyanobacteria*, ragi, beberapa jenis alga dan jamur.

Di antara semua jenis mikroorganisme, kapang memainkan peran penting dalam kerusakan material. Kapang dapat berkoloni pada permukaan batuan untuk kemudian mengeluarkan enzim, asam serta pigmen organik dan anorganik. Kapang dapat menyebabkan terjadinya pelapukan biologis yang berperan dalam perubahan substrat dan juga perubahan warna batuan. Kemampuan jamur untuk berinteraksi dengan mineral, logam, metalloid dan senyawa organik melalui proses biomekanik dan biokimia menjadikannya ideal sebagai agen pelapukan secara biologis pada batuan dan bangunan yang dibuat dari batu (Milica, 2009).

Jenis batuan yang digunakan pada bangunan Candi Mendut adalah batu andesit, yang mana memiliki berbagai macam senyawa penyusun. Di antara semua senyawa penyusun batu andesit, ada beberapa senyawa yang dapat memberikan kecukupan nutrisi untuk beberapa jenis kapang seperti kalsium, aluminium, kalium, mangan dan besi. Hal ini tentu saja akan memberikan dampak negatif terhadap keterawatan batuan. Hal yang dimungkinkan terjadi dengan adanya pertumbuhan kapang yang sangat baik pada batuan akan mengakibatkan munculnya berbagai macam permasalahan pada kondisi fisik batuan. Beberapa permasalahan yang terjadi pada batuan Candi Mendut berdasarkan Laporan Akhir Rencana Pelestarian Candi Mendut (2017) adalah adanya penggaraman, postule dan alveol, pertumbuhan organisme, kerapuhan dan pengelupasan serta kerusakan atau pelapukan jenis lain.

Dengan adanya berbagai permasalahan tersebut, kerusakan yang terjadi karena akibat dari aktivitas organisme (kapang) akan dibahas secara lebih lanjut. Berdasarkan deteksi dan karakterisasi yang telah dilakukan, jenis kapang yang dapat teridentifikasi adalah genus *Acremonium*, *Aspergillus*, *Arthrimum*, *Chrysonilia*, *Mucor*, *Penicillium* dan *Scopulariopsis*.

Sterflinger (2000) mengindikasikan bahwa ada beberapa genus kapang yang memiliki kemampuan untuk merusak batuan yang mengandung senyawa silika di dalamnya, kerusakan yang ditimbulkan oleh genus tersebut berupa perubahan warna batuan. Genus kapang penyebab kerusakan batuan tersebut diantaranya adalah *Aspergillus niger*, *Penicillium simplissium* dan *Scopulariopsis brevicaulis*. Oleh karena itu berdasarkan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Sterflinger (2000) dapat diketahui bahwa adanya kerusakan yang berupa perubahan warna permukaan batuan Candi Mendut dapat disebabkan oleh aktivitas beberapa genus kapang, yaitu genus *Aspergillus*, *Penicillium*, dan *Scopulariopsis*.

Hal tersebut tentu dipengaruhi oleh kemampuan genus tersebut dalam bertahan dan menyesuaikan diri pada permukaan batuan. Selain itu kemampuan kapang dalam memproduksi asam organik juga berpengaruh terhadap kekuatan kapang untuk bertahan hidup pada permukaan batuan. Hal tersebut dikarenakan di antara beberapa jenis asam organik yang dikeluarkan oleh jamur (oksalat, sitrat, format, glukonik, giloksilat, malat, suksinat dan piruvat) berperan sebagai kelator pada proses biogeokimia yang terjadi dengan melibatkan produksi metabolit yang bereaksi dengan batu sehingga membentuk mineral sekunder. Pengendapan mineral sekunder (karbonat dan oksalat) pada batuan terbentuk selama kolonisasi jamur dan pelarutan mineral sehingga membentuk kerak pada permukaan batuan dan pengendapan mineral di sekitar hifa progresif yang dapat memperkuat celah dan retakan pada batuan (Fomina, 2010).

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Farooq (2015) diketahui bahwa genus kapang *Aspergillus* dan *Penicillium* merupakan genus yang dapat menghasilkan asam tertinggi. Selain itu penelitian yang dilakukan oleh Sterflinger (2000) menyatakan bahwa kapang *Aspergillus niger*, *Penicillium simlissium*, dan *Scopulariopsis brevicaulis* merupakan beberapa kapang yang menyerang batuan yang mengandung silika di dalamnya. Oleh karena itu interaksi yang terjadi antara ketiga genus tersebut dengan substrat batuan dapat dijadikan sebagai salah satu penyebab kerusakan pada batuan karena adanya aktivitas biokorosif berupa ekskresi asam organik atau oksidasi kation yang membentuk mineral yang dapat diserap oleh sel serta mengakibatkan adanya perubahan warna pada permukaan batu. Hal tersebut didukung oleh penelitian yang telah dilakukan oleh Diakumaku (1994) yang menyatakan bahwa *Penicillium frequentans* merupakan kapang yang memicu biofilm hitam pada batuan, *Aspergillus sydowi* dan *Stachybotrysarta* merupakan kapang yang membentuk noda hitam pada batuan.

Perubahan warna yang terjadi pada batuan dapat disebabkan oleh adanya pertumbuhan kapang yang memiliki pigmen dan asam oksalat. Asam oksalat merupakan salah satu asam organik yang digunakan oleh kapang untuk memperoleh beberapa senyawa yang dibutuhkan untuk metabolisme mereka. Menurut (Bennett et al., 1988) dalam (Hons, 2008) asam oksalat sudah terbukti dalam peningkatan pelarutan batuan silika. Asam oksalat akan memberikan pewarnaan pada batuan berupa cokelat atau kuning. Tidak hanya asam oksalat, beberapa jenis asam organik yang diproduksi oleh kapang antara lain sitrat, asetat, glukonat, malat, suksinat, laktat yang mengkelat ion magnesium, besi, kalsium dari permukaan batu dan kompleksasi dengan garam (Sand et al., 2002; de la Torre et al., 1993) dalam (Hons, 2008: 37).

Selain ketiga genus di atas, masih ada empat genus lagi yang akan dibahas yaitu Genus *Acremonium*, *Arthriniium*, *Mucor*, dan *Chrysonilia*. Penelitian yang dilakukan oleh Farooq (2015) Menemukan bahwa ada beberapa kapang hasil dari isolasi monument batu Dharmarajika, Taxila yang teridentifikasi, beberapa genus tersebut diantaranya adalah *Alternaria sp.*, *Aspergillus sp.*, *Acremonium sp.*, *Arthobotrys sp.*, *Aurebasidium sp.*, *Cladiosporum sp.*, *Culvularia sp.*, *Drechslera sp.*, *Fusarium sp.*, *Helminthosporium sp.*, *Mucor sp.*, *Phoma sp.*, *Penicillium sp.*, *Rhizopus sp.*, *Tricothecium sp.*, dan *Tricoderma sp.*

*Mucor* merupakan genus yang memiliki peran penting dalam keterawatan batuan. Berdasarkan studi yang dilakukan oleh Farooq (2015) genus *Mucor* bersama dengan *Cladosporiium* menempati persebaran ketiga dan keenam yang memiliki kemampuan untuk terlibat dalam pembusukan biologis dalam batuan. Hal tersebut juga didukung oleh kemampuan genus ini dalam memproduksi asam organik berupa asam oksalat, asam sitrat dan asam glukonat yang akan membentuk mineral sekunder nantinya akan membentuk kerak pada permukaan batuan dan pengendapan mineral di sekitar hifa progresif yang dapat memperkuat celah dan retakan batuan (Fomina, 2010).

Selain itu penelitian yang dilakukan oleh Parisa Mohammadi (2014) mengidentifikasi adanya kapang dengan genus *Alternaria sp.*, *Cladiosporum sp.*, *Ulocladium sp.*, *Fusarium sp.*, *Humicula sp.* dan *Arthriniium sp.* yang merupakan hasil dari isolasi yang dilakukan pada batuan makam. Beberapa genus dari hasil penelitian tersebut telah dilaporkan sebagai jamur yang umum terlibat dalam kerusakan biologis. Jika dibandingkan dengan hasil identifikasi dan karakterisasi kapang yang diisolasi dari batuan Candi Mendut, hasil menunjukkan bahwa genus *Acremonium* dan *Arthriniium* turut berperan dalam kerusakan batuan.

Kemampuan kapang dengan genus *Acremonium* dan *Arthriniium* dalam bertahan dan menyesuaikan diri pada permukaan batuan tentu sangat berpengaruh terhadap kelangsungan hidup genus kapang tersebut. Adanya penetrasi hifa/filamen yang dilakukan oleh kapang tersebut dapat dijadikan sebagai indikasi pertama bahwa kapang tersebut berpotensi sebagai agen biodeteriorasi. Hal tersebut didukung oleh teori yang menyatakan bahwa organisme yang mampu menetrasi batuan hingga bagian dalam batuan melalui pori-pori dan retakan yang ada pada batuan menyebabkan deteriorasi objek batu budaya melalui mekanisme yang sama seperti mikroorganisme yang ada pada permukaan batuan. Selain itu dengan adanya mikroorganisme tersebut dapat mengakibatkan terjadinya penyusutan dan pembengkakan EPS hingga menyebabkan tekanan mekanis yang membuka retakan pada batuan (Warscheid dan Braams, 2000). Namun belum ada penelitian lebih lanjut yang menyatakan lebih detail mengenai peran yang dapat dilakukan oleh genus *Acremonium* dan *Arthriniium* dalam kerusakan batuan.

Genus terakhir yang diidentifikasi adalah *Chrysonilia*. Kapang ini merupakan jenis kapang yang biasa disamakan dengan genus *Neurospora*. Kapang dengan genus ini biasa ditemukan pada daerah tropis dan subtropik dan diisolasi dari tanah, udara dan makanan (Gandjar, 1999).

Pada umumnya *Chrysonilia* ini menimbulkan kerusakan terhadap makanan seperti kopi, roti, kayu dan lain sebagainya. Hal tersebut didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Francuz (2010) yang menyatakan bahwa kapang dengan genus *Chrysonilia* sering ditemukan mengontaminasi kopi, roti dan kayu. Belum ada penelitian yang menyatakan

bahwa kapang dengan genus ini memiliki kemampuan dalam menimbulkan kerusakan pada batuan. Sehingga belum bisa dipastikan bahwa kapang dengan genus *Chrysonilia* yang ditemukan pada batuan Candi Mendut berpotensi sebagai agen biodeteriorasi. Keberadaan genus ini pada batuan dimungkinkan oleh adanya persebaran spora melalui udara, sehingga *Chrysonilia* dapat ditemukan pada batuan Candi Mendut.

Berdasarkan hal tersebut maka dapat diketahui bahwa dari tujuh titik pengambilan sampel ada 5 genus yang berpotensi dalam memicu dan memperparah kerusakan pada batuan, baik dalam hal penggaraman, terjadinya biofilm serta terjadinya kerapuhan dan pelapukan. Kelima genus tersebut adalah *Aspergillus*, *Penicillium*, *Scopulariopsis*, *Acremonium*, *Mucor*, dan *Arthrinium*. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan diketahui bahwa genus kapang yang paling tinggi jumlah dan persebarannya memberikan kerusakan yang tinggi pula. Genus kapang tersebut adalah *Penicillium* dan *Aspergillus* yang dapat menyebabkan perubahan warna pada batuan Candi Mendut. Sedangkan genus yang ditemukan namun tidak diindikasikan sebagai agen biodeteriasi adalah genus kapang *Chrysonilia*. Hal tersebut dikarenakan belum adanya penelitian yang menunjukkan kemampuan genus ini dalam menimbulkan kerusakan pada batuan.

Kerusakan yang terjadi pada batuan candi tentu saja disebabkan oleh berbagai macam faktor yang saling dukung. Dalam hal ini suhu dan kelembaban menjadi salah satu faktor penting dalam mendukung pertumbuhan kapang yang ada pada batuan Candi Mendut. Hal ini didukung oleh teori yang disampaikan oleh Riyanto (2014) bahwa pelapukan secara fisika terjadi karena adanya faktor fisik seperti suhu dan tekanan, pelapukan secara kimia terjadi karena struktur kimiawi pada batuan berubah karena adanya reaksi hidrolisasi atau oksidasi, sedangkan pelapukan secara biologi terjadi karena adanya aktivitas organisme seperti jamur, alga, dan bakteri. Berdasarkan data pengamatan kondisi iklim bilik Candi Mendut, diperoleh hasil bahwa rata-rata kelembaban pada bulan Januari adalah 98.792% dan 100% pada Bulan Februari. Rata-rata suhu bilik pada bulan Januari adalah 25.109°C dan 22.956,6°C pada Bulan Februari. Adanya fluktuasi suhu dan kelembaban pada bilik Candi Mendut tentu saja berpengaruh terhadap keterawatan batuan. Selain itu dengan suhu dan kelembaban tersebut tentunya juga memberikan pengaruh terhadap potensi pertumbuhan kapang pada batuan candi, karena kondisi tersebut memberikan kemungkinan pertumbuhan kapang yang optimum dan memberikan potensi kerusakan lain pada batuan candi.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Mcnamara & Ralph (2015) perlindungan pada batuan sejarah dapat dilakukan dengan pencegahan pengendapan pada permukaan batuan yaitu dengan menggunakan konsolidan polimer, yaitu bahan kimia yang dirancang untuk menembus permukaan batu dan mengikat batuan yang rusak menjadi satu. Selain itu cara lain yang dapat dilakukan untuk menghambat pertumbuhan mikroorganisme yang berpotensi merusak batuan candi adalah dengan memberikan antimikroba yang terbuat dari bahan alam, sehingga tidak menimbulkan efek kerusakan lain pada batuan candi.

## **KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil penelitian serta pembahasan maka dapat disimpulkan bahwa Kapang yang teridentifikasi sebagai kapang kontaminan yang berpotensi sebagai penyebab kerusakan pada batuan Candi Mendut adalah *Penicillium* (37,5%), *Aspergillus* (21,25%), *Acremonium* (28,75%), *Scopulariopsis* (15,3%), *Chrysonilia* (3,75 %) dan *Arthrimum* (1,25 %).

Berdasarkan hasil penelitian dan studi yang telah dilakukan, diketahui bahwa genus yang berpotensi sebagai penyebab kerusakan batuan Candi Mendut diantaranya adalah genus *Acremonium*, *Arthrimum*, dan *Mucor* berpotensi dalam kerusakan biologis yang terjadi pada batuan, serta *Aspergillus*, *Penicillium*, dan *Scopulariopsis* berpotensi memicu terjadinya biofilm hitam pada batuan serta membentuk noda hitam pada batuan. Sedangkan padagenus *Chrysonilia* belum ada informasi serta penelitian yang mendukung bahwa genus ini berpotensi menyebabkan kerusakan pada batuan candi.

## **SARAN/REKOMENDASI**

Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai identifikasi dan pengujian enzim spesifik apa yang terdapat pada kapang yang telah ditemukan sehingga dapat dilakukan deskripsi secara lebih detail mengenai terjadinya biodeteriorasi pada batuan candi.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diharapkan kedepannya dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pencegahan dan pengendalian kapang pada batuan candi secara lebih efektif.

## **UCAPAN TERIMA KASIH**

Terima kasih penulis sampaikan kepada Wiwit Kasiyati, S.S, M.A., Kepala Balai Konservasi Borobudur yang telah memberikan kesempatan untuk melaksanakan kegiatan penelitian di situs Candi Mendut, Jalan Mayor Kusen Kota Mungkid, Kabupaten Magelang, Jawa Tengah.

## DAFTAR PUSTAKA

- Balai Konservasi Borobudur. (2011). *100 Tahun Pasca pemugaran Candi Borobudur: Trilogi I, Menyelamatkan kembali Candi Borobudur*. Magelang: Balai Konservasi Borobudur
- Barnett, H.L., & B.B. Hunter. (1998). *Illustrated Genera of Imperfect Fungi Fourth Edition*. APS Press. The American Phytoathological Society USA
- Campbell, C.K., Johnson, E.M., Warnock, D.W. (2013). *Identification of Pathogenic Fungi second edition*. Atlanta, Georgia, USA: Wiley-Blackwell
- Crous, P.W., Groenewald, J.Z. (2013). A Phylogenetic re-evaluation of *Arthrinium*. *International Mycological Association*. 4(1), 133-154.
- Diakumaku E, Ausset P, Sterflinger K. (1994). *Characterisation of Endolithic Communities of Stone Monuments and Natural Outcrops*. Prosiding 3rd Simposium Internasional: Italia. 305–310 ha
- Ekarini, D.F. (2019). *Stabilitas Struktur Candi Mendut*. Magelang: Balai Konservasi Borobudur.13(2).
- Ellis, Harold. (2006). *Clinical Anatomy for student & Junior Doctors. Eleventh edition*. USA: Blackwell Publishing
- Fardiaz, Srikandi. (1989). *Mikrobiologi Pangan*. Jakarta: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi
- Farooq, Muhammad, Hassan, Mukhtiar; Gull, Farzana. (2015). Mycobial Deterioration of Stone Monuments of Dharmarajika. Taxila. *Journal of Microbiology & Experimentation*. 2(1), 29 - 33.
- Fomina, M. and Gadd, G.M. (2002). *Metal sorption by Biomassa of Melanin Producing Fungi Grown in Clay-Containing Medium*. *Chem. Technol, Biotechnol*. 78, 23-34
- Gupta, S.P., Sharma, Kavita. (2011). Biodeterioration and preservation of Sita Devi Candi, Deorbija, Chhattisgarh, India. *International Journal of Conservation Science*. 2, 89 - 94.
- Hons. (2008). *Thesis*. Microbial Biodeterioration of Outdoor Stone Monuments. Assessment Methods and ontrol Strategis. Cardiff University
- Isnaini, M., Muthananas, I.K.D., dan Jaya. (2012). Studi Pengetahuan Tentang Penyakit Busuk Batang Pada Tanaman Buah Naga Di Kabupaten Lombok Utara. *Laporan Penelitian*. Mataram: Pusat Penelitian Universitas Mataram
- Mcnamara C.J., Ralph M. (2005). Kerusakan Mikroba dari Batu bersejarah. *Jurnal Lingkungan*. 3(8), 445- 451
- Michelle. (2012). Isolasi, Identifikasi, dan Pengujian Kemampuan Kapang Selulotik dari Manuskrip Kuno Berbahan Daluang Asal Perpustakaan Fakultas Ilmu Pengetahuan Budaya Universitas Indonesia: *Tugas Akhir Skripsi*. Jakarta: UI-Press
- Mikasari, W., Hidaayat T., Artanti H. (2015). *Kontaminasi Jamur Aspergillus sp. Pada Berbagai Varietas Benih Kacang Tanah Selama Penyimpanan*. Bengkulu: BPTP Bengkulu
- Miksic, John. (2002). *Indonesian Heritage. SEJARAH AWAL*. Jakarta: Penerbit Buku Antar Bangsa. Vol(I)
- Milicia, Gomzi. (2009). Sick Building Syndrome Do we live and work in Unhealthy Environment. *Periodicum Biologorum Journal*. 111(1), 79-84.

- Mohammad, Parisa., Maghbol-Balasjin, Nasim. (2014). Isolation and Molecular identification of deteriorating fungi from Cyrus the Great tomb stones. *Iranian Journal of Microbiology*. 6(5), 361-370
- Navi S.S., Bandyopadhyay R., Hall A.J., & Bramel-Cox P.J. (1999). *A Pictorial Guide for the Identification of Mold Fungi on Sorghum Grain*. Information Bulletin no.59. Andhra Pradesh, India: Natural Resources Institute.
- Riadi, Imam. (2020). Deteksi dan Identifikasi Kapang pada Proses Biodeteriorasi Arsip Foto Memory Of The World (MOW) Restorasi Candi Borobudur. *Tugas Akhir Skripsi*. Yogyakarta FMIPA UNY - Press.
- Richard, A.H. (1997). *Fungi: Identification. Journal Manual of Techniques In Insect Pathology*. USDA-Ars Plant Protection Research Unit. New York: USA. Chapter V-1. ISBN 0-12-432555-6
- Sugiyono (2013). *Metode Penelitian Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta
- Tim Penulis. (2017). *Laporan Akhir Rencana Pelestarian Candi Mendut*. Magelang: BKB Press.
- Trimaryanto, Aldriyanto. (2019). *Candi-Candi Bersejarah Di Indonesia*. Sleman: Sentra Edukasi Media
- Veronica., Mukarlina., Linda R. (2015). Jamur yang diisolasi dari Daun dan Batang Bergejala Sakit pada Tanaman Karet (*Hevea brasiliensis* Muell.Arg) di Kabupaten Sanggau. *Jurnal Protobiont*. 4(3), 41-48.
- Warscheid, T., Braams, J. (2000). *Biodeterioration batu: Sebuah tinjauan*. Int. Biodeterior. Biodegradasi. 46, 343-368.