



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ISOLASI, IDENTIFIKASI, DAN PENAPISAN KAPANG  
SELULOLITIK DARI MANUSKRIP KUNO KERTAS EROPA  
ASAL PERPUSTAKAAN FAKULTAS ILMU PENGETAHUAN  
BUDAYA UNIVERSITAS INDONESIA**

**SKRIPSI**

**ALVIN NATALIUS  
0806327080**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
DEPARTEMEN BIOLOGI  
DEPOK  
JUNI 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ISOLASI, IDENTIFIKASI, DAN PENAPISAN KAPANG  
SELULOLITIK DARI MANUSKRIP KUNO KERTAS EROPA  
ASAL PERPUSTAKAAN FAKULTAS ILMU PENGETAHUAN  
BUDAYA UNIVERSITAS INDONESIA**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains**

**ALVIN NATALIUS  
0806327080**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
DEPARTEMEN BIOLOGI  
DEPOK  
JUNI 2012**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Alvin Natalius

NPM : 0806327080

Tanda Tangan : 

Tanggal : 27 Juni 2012

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Alvin Natalius  
NPM : 0806327080  
Program Studi : Biologi  
Judul Skripsi : Isolasi, Identifikasi, dan Penapisan Kapang  
Selulolitik dari Manuskrip Kuno Kertas Eropa Asal  
Perpustakaan Fakultas Ilmu Pengetahuan Budaya  
Universitas Indonesia

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana *Science* pada Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ariyanti Oetari, Ph.D (.....  
Penguji I : Wellyzar Sjamsuridzal, Ph.D (.....  
Penguji II : Mega Atria, M.Si (.....

Ditetapkan di : Depok  
Tanggal : 27 Juni 2012

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus, karena oleh kasih karunia dan pertolonganNya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. KebajikanNya selalu tersedia yang memberikan hikmat dan pencerahan kepada penulis. Ia juga telah mengulurkan tanganNya untuk membangkitkan penulis apabila penulis merasa terjatuh dan putus asa. Ia menjadi motivasi terbesar bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.

Selanjutnya penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ariyanti Oetari, Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, waktu, saran, dan kritik untuk mengarahkan penulis dalam menyusun dan menyelesaikan skripsi ini serta selaku Penasehat Akademik yang telah membantu penulis menyelesaikan perkuliahan dari semester awal hingga semester akhir.
2. Hibah Riset Unggulan Bidang Prioritas *Indigenous Studies* Universitas Indonesia tahun 2010 atas nama Ariyanti Oetari, Ph.D. yang telah membiayai penelitian ini.
3. Wellyzar Sjamsuridzal, Ph.D. selaku dosen penguji I dan Mega Atria, M.Si. selaku dosen penguji II atas kesediaannya menguji penulis dan memberikan saran, kritik, dan dukungan tentang penelitian dan penulisan skripsi.
4. Dr. Wibowo Mangunwardoyo dan Dra. Setiorini M.Kes sebagai koordinator seminar yang telah mengatur registrasi dan pelaksanaan Usulan Penelitian dan Seminar Hasil penulis.
5. Perpustakaan Fakultas Ilmu Pengetahuan Budaya Universitas Indonesia, Dr. Tamara Susetyo-Salim, dan Mbak Opie yang membantu dan memfasilitasi dalam pengambilan sampel.
6. Papi dan mami tersayang, yaitu Tan Seng Kian dan Teng Swie Eng serta kakak tercinta, Ivonie Natalia atas dukungan dan perhatiannya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.
7. Edvan, Michelle, dan Dessy sebagai teman seperjuangan selama penelitian dan penulisan skripsi sehingga penulis tetap bersemangat menyelesaikannya.

8. Ahmad Supriadi S.Ip dan Asri Martini, S.Si atas bantuan dan dukungannya selama penelitian.
9. Mbak Dalia, Mbak Reno, Bu Retno, Mbak Murni, Ka Dafina, dan Ka Irvan atas saran, bantuan, dan motivasi yang diberikan selama penelitian dan penulisan skripsi.
10. Bregas, Seyla, Dhila, Hanum, Savitri, Faton, Chiki, Sentot, Rusli, Okta, Odyt, Grand, Chir, dan Rere atas kebersamaan dan persahabatannya di Laboratorium Mikrobiologi dan CoE IBR-GS.
11. Pak Taryana, Pak Taryono, Mas Arief, Mas Dedi, Ibu Rusmalina, Ibu Sofie, Mbak Venti, Ibu Siti, Mbak Aam, dan Mbak Aliyah atas bantuannya selama penulis berada di Departemen Biologi.
12. Abas, Andreas, Ozzy, Oim, Omen, Yuan, Yudi, Widi, Jamal, Anas, Tono, Nisa, Ami, Uchi, Ochi, Babas, Diny, Edis, Pute, Erin, Sinto, Maul, Labi, Wina, Dewi, Mitha, dan saudara-saudari Bi08entris, Blossom, Felix, Zygomorph, dan Biogenesis atas perhatian, dukungan, dan kebersamaannya di Departemen Biologi.
13. Andy, Arkies, Anthony, Hendry, James, Umbu, Epin, Melda, Patcy, Krisna, Gaby, Grace, Dita, Roni, Teguh, Cindy, Bunga, Edo, Sofian, Daniel, Ken, Kak Rendy, Kak Erni, Raymond, Badia, Steven, dan saudara saudari Persekutuan Oikumene FMIPA UI atas doa, persekutuan, perhatian, dan dukungannya.
14. Belly, Terre, Oliph, Ico, Nita, Glenys, Sharren, Ko Fedra, Tio, Gunawan, dan sahabat-sahabat N2Gen yang selalu memberikan dukungan, doa, dan semangat kepada penulis sehingga penulis terus berjuang dan berusaha menyelesaikan skripsi ini.
15. Stefanny, Yanuar, Nico, Irvan, Stefanus, Awang, Cece, Sandy, Ko Aho, Ko Marsendi, Ko Petrus, Ci Sylvi, Dorti, Siska, Selli, dan sahabat-sahabat Youth GBI MB atas dukungan dan doanya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini.

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Depok, Juni 2012

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Alvin Natalius  
NPM : 0806327080  
Program Studi : S1 Biologi  
Departemen : Biologi  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Isolasi, Identifikasi, dan Penapisan Kapang Selulolitik dari Manuskrip Kuno Kertas Eropa Asal Perpustakaan Fakultas Ilmu Pengetahuan Budaya Universitas Indonesia

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 27 Juni 2012

Yang menyatakan



(Alvin Natalius)

## ABSTRAK

Nama : Alvin Natalius  
Program Studi : Biologi  
Judul : Isolasi, Identifikasi, dan Penapisan Kapang  
Selulolitik dari Manuskrip Kuno Kertas Eropa Asal  
Perpustakaan Fakultas Ilmu Pengetahuan Budaya  
Universitas Indonesia

Penelitian bertujuan mengisolasi kapang manuskrip kuno kertas Eropa asal Perpustakaan Fakultas Ilmu Pengetahuan Budaya Universitas Indonesia, mengetahui kemampuan kapang-kapang tersebut tumbuh pada kertas Eropa dan kemampuan selulolitiknya, serta mengidentifikasinya. Hasil isolasi dan pemurnian pada medium DG 18 menghasilkan 11 isolat kapang. Penapisan isolat-isolat menunjukkan 9 isolat memiliki kemampuan tumbuh pada substrat kertas Eropa. Penapisan menggunakan *Carboxymethyl Cellulose* (CMC) dan *Congo red* memberikan indikasi delapan isolat memiliki enzim selulase berupa endoglukanase. Hasil identifikasi konvensional berdasarkan karakter morfologi menunjukkan kapang-kapang tersebut adalah *Aspergillus* E.FIB.UI.1.1.2, *Aspergillus* E.FIB.UI.1.2, *Aspergillus* E.FIB.UI.4.2, *Aspergillus* E.FIB.UI.5.3, *Penicillium* E.FIB.UI.2.1.1, *Penicillium* E.FIB.UI.2.1.2, *Penicillium* E.FIB.UI.2.8, *mycelia sterilia* E.FIB.UI.1.1.1, dan *mycelia sterilia* E.FIB.UI.3.3.

Kata kunci:

*Aspergillus*, *Carboxymethyl Cellulose*, kertas Eropa, manuskrip kuno, *Penicillium*, selulolitik.

xiv + 74 halaman : 31 gambar; 6 tabel; 5 lampiran  
Bibliografi : 53 (1977--2012)

## ABSTRACT

Name : Alvin Natalius  
Program Study : Biology  
Title : Isolation, Identification, and Screening of Cellulolytic Fungi from Old Manuscripts of European Papers from the Library of Faculty of Humanities of Universitas Indonesia

This research was to isolate fungi from the Library of Faculty of Humanities of Universitas Indonesia, to screen cellulolytic isolates that grow on old manuscripts of European papers and to identify the isolates. Eleven mould isolates were obtained on medium DG 18 Agar. Nine isolates were able to grow on European papers. Eight isolates were able to grow on *Carboxymethyl Cellulose* (CMC) and *Congo red* indicating they have endoglucanase. Identification by conventional method showed that they were *Aspergillus* E.FIB.UI.1.1.2, *Aspergillus* E.FIB.UI.1.2, *Aspergillus* E.FIB.UI.4.2, *Aspergillus* E.FIB.UI.5.3, *Penicillium* E.FIB.UI.2.1.1, *Penicillium* E.FIB.UI.2.1.2, *Penicillium* E.FIB.UI.2.8, *mycelia sterilia* E.FIB.UI.1.1.1, and *mycelia sterilia* E.FIB.UI.3.3.

Keyword:

*Aspergillus*, *Carboxymethyl Cellulose*, cellulolytic, European paper, old manuscript, *Penicillium*.

xiv + 74 pages : 31 pictures; 6 tables; 5 attachments

Bibliography : 53 (1977--2012)

## DAFTAR ISI

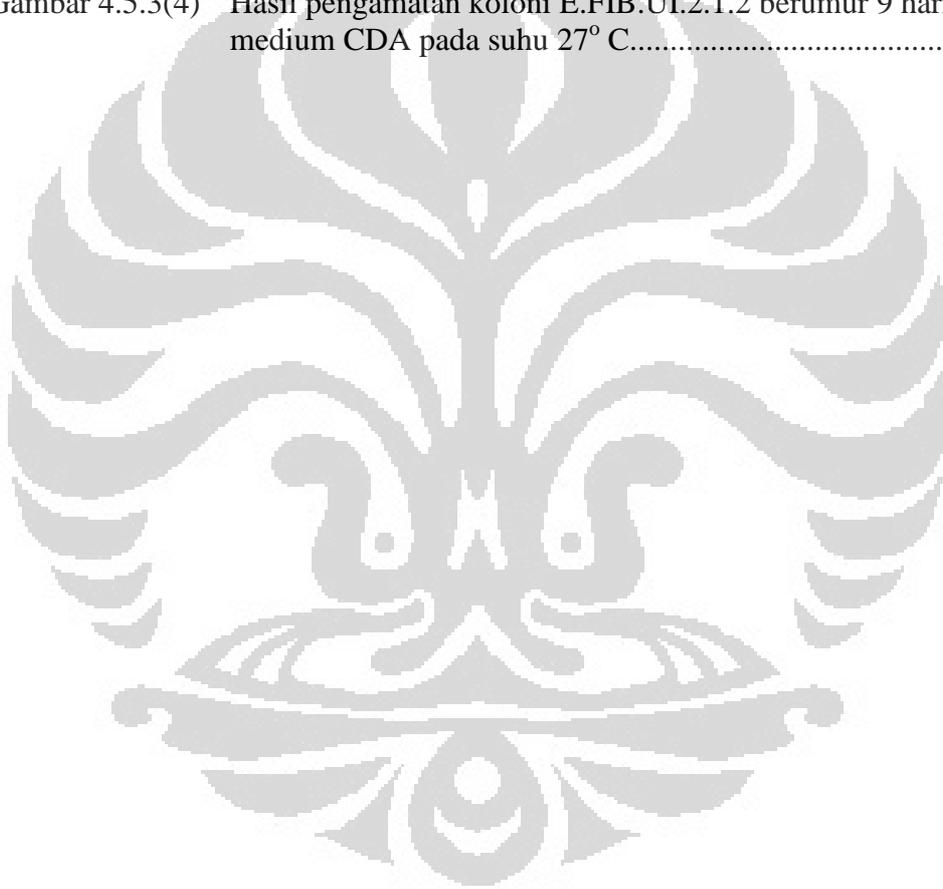
HALAMAN JUDUL.....	ii
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	vii
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiv
<b>1. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>7</b>
2.1 Fungi.....	7
2.2 Manuskrip Kuno dari Kertas Eropa.....	9
2.3 Koleksi Manuskrip Kuno Perpustakaan Fakultas Ilmu Pengetahuan Budaya Universitas Indonesia.....	13
2.4 Isolasi Kapang Manuskrip.....	14
2.5 Selulase.....	15
2.6 Penapisan Kemampuan Selulolitik.....	16
2.7 Identifikasi.....	18
<b>3. METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>21</b>
3.1 Lokasi dan Waktu.....	21
3.2 Alat.....	21
3.3 Bahan.....	21
3.3.1 Sampel.....	21
3.3.2 Medium.....	22
3.3.3 Bahan Kimia.....	22
3.3.4 Bahan Habis Pakai.....	23
3.4 Cara Kerja.....	23
3.4.1 Pembuatan Medium.....	23
3.4.1.1 <i>Plate Count Agar (PCA)</i> .....	23
3.4.1.2 <i>Plate Count Agar (PCA)</i> dengan Penambahan <i>Rose Bengal</i> .....	23
3.4.1.3 <i>Potato Dextrose Agar (PDA)</i> .....	24
3.4.1.4 <i>Dichloran 18% Glycerol (DG 18) Agar</i> dengan Penambahan <i>Rose Bengal</i> .....	24
3.4.1.5 <i>Medium Basal Czapek's Dox Agar (CDA)</i> Tanpa Sumber Karbon.....	24
3.4.1.6 <i>Medium Basal Czapek's Dox Agar (CDA)</i> dengan	

Penambahan CMC.....	25
3.4.1.7 Medium <i>Czapek's Dox Agar</i> (CDA).....	25
3.4.2 Pengambilan Sampel Kapang .....	26
3.4.3 Isolasi Kapang dari Manuskrip.....	26
3.4.4 Permunian Isolat Kapang dari Manuskrip.....	27
3.4.5 Pembuatan <i>Stock</i> dan <i>Working Culture</i> .....	27
3.4.6 <i>Total Plate Count</i> TPC.....	27
3.4.7 Penapisan Isolat Kapang Tumbuh pada Kertas Eropa.....	28
3.4.8 Penapisan Isolat Kapang Selulolitik dengan Substrat <i>Carboxymethyl Cellulose</i> (CMC).....	28
3.4.9 Identifikasi Isolat Kapang.....	29
3.4.10 Analisis Data.....	30
<b>4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>31</b>
4.1 Pengambilan Sampel dan Isolasi Kapang dari Manuskrip Kuno Kertas Eropa.....	31
4.2 Enumerasi.....	36
4.3 Penapisan Isolat Kapang dengan Substrat Kertas Eropa.....	36
4.4 Penapisan Isolat Kapang dengan Substrat <i>Carboxymethyl Cellulose</i> (CMC).....	39
4.5 Identifikasi Kapang Manuskrip Kuno Kertas Eropa Asal Perpustakaan FIB UI.....	44
4.5.1 <i>Aspergillus</i> E.FIB.UI.1.1.2, <i>Aspergillus</i> E.FIB.UI.1.2, <i>Aspergillus</i> E.FIB.UI.4.2, dan <i>Aspergillus</i> E.FIB.UI.5.3.....	44
4.5.2 <i>Penicillium</i> E.FIB.UI.2.1.1, <i>Penicillium</i> E.FIB.UI.2.1.2, dan <i>Penicillium</i> E.FIB.UI.2.8.....	52
4.5.3 <i>Mycelia Sterilia</i> E.FIB.UI.1.1.1 dan <i>Mycelia Sterilia</i> E.FIB.UI.3.3.....	58
<b>5. KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>63</b>
5.1 Kesimpulan.....	63
5.2 Saran.....	63
<b>DAFTAR REFERENSI .....</b>	<b>64</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>69</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Kerusakan pada manuskrip kertas Eropa FIB UI.....	2
Gambar 1.2	Kerusakan pada Manuskrip Le Stanze del Bandello dari abad ke-16 oleh fungi.....	3
Gambar 2.2	Contoh <i>watermark</i> pada kertas Eropa berupa dokumen tua VOC dari abad ke-19 milik Perpustakaan Nasional Republik Indonesia.....	12
Gambar 2.6(1)	<i>Trichoderma reesei</i> pada medium <i>Cellobiose</i> dengan keempat jenis pewarna kromogenik.....	17
Gambar 2.6(2)	<i>Trichoderma</i> dan <i>Ganoderma neo-japonicum</i> pada substrat <i>Cellobiose</i> yang mengandung pewarna <i>Congo red</i> pada suhu 25° C dan pH 7.....	18
Gambar 2.7(1)	Beberapa bentuk askus.....	19
Gambar 2.7(2)	Zigospora.....	20
Gambar 2.7(3)	Beberapa bentuk konidia.....	20
Gambar 4.1(1)	Isolat kapang dari manuskrip Gramatica Dialect Pasaeraean pada hari kelima di medium PCA pada suhu 27° C.....	34
Gambar 4.1(2)	A menunjukkan sisi atas manuskrip.....	35
Gambar 4.3(1)	Kertas Eropa dokumen tua VOC dari tahun 1868 koleksi Perpustakaan Nasional Republik Indonesia.....	36
Gambar 4.3(2)	Pengamatan isolat kapang tumbuh di atas kertas Eropa pada hari keempat diinkubasi pada suhu 27° C.....	37
Gambar 4.4	Pengamatan isolat kapang uji dengan substrat CMC setelah ditetaskan <i>Congo red</i> pada hari ke-5 pada suhu 27° C.....	41
Gambar 4.5.1(1)	Mikromorfologi <i>Aspergillus</i> E.FIB.UI.1.1.2 berumur 9 hari di medium CDA pada suhu 27° C.....	46
Gambar 4.5.1(2)	Koloni <i>Aspergillus</i> E.FIB.UI.1.1.2 berumur 9 hari di medium CDA pada suhu 27° C.....	47
Gambar 4.5.1(3)	Mikromorfologi <i>Aspergillus</i> E.FIB.UI.1.2 berumur 9 hari di medium CDA pada suhu 27° C.....	48
Gambar 4.5.1(4)	Koloni <i>Aspergillus</i> E.FIB.UI.1.2 berumur 9 hari di medium CDA pada suhu 27° C.....	48
Gambar 4.5.1(5)	Morfologi <i>Aspergillus</i> E.FIB.UI.4.2 berumur 9 hari di medium CDA pada suhu 27° C.....	49
Gambar 4.5.1(6)	Koloni <i>Aspergillus</i> E.FIB.UI.4.2 berumur 7 hari di medium CDA pada suhu 27° C.....	50
Gambar 4.5.1(7)	Mikromorfologi <i>Aspergillus</i> E.FIB.UI.5.3 berumur 8 hari di medium CDA pada suhu 27° C.....	51
Gambar 4.5.1(8)	Koloni <i>Aspergillus</i> E.FIB.UI.5.3 berumur 9 hari di medium CDA pada suhu 27° C.....	51
Gambar 4.5.2(1)	Mikromorfologi kapang E.FIB.UI.2.1.1 berumur 9 hari di medium CDA pada suhu 27° C.....	54
Gambar 4.5.2(2)	Koloni E.FIB.UI.2.1.1. berumur 9 hari di medium CDA pada suhu 27° C.....	54
Gambar 4.5.2(3)	Mikromorfologi kapang E.FIB.UI.2.1.2 berumur 9 hari di	

	medium CDA pada suhu 27° C.....	55
Gambar 4.5.2(4)	Koloni E.FIB.UI.2.1.2 berumur 9 hari di medium CDA pada suhu 27° C.....	56
Gambar 4.5.2(5)	Mikromorfologi kapang E.FIB.UI.2.8 berumur 9 hari di medium CDA pada suhu 27° C.....	57
Gambar 4.5.2(6)	Koloni E.FIB.UI.2.8 berumur 9 hari di medium CDA pada suhu 27° C.....	57
Gambar 4.5.3(1)	Mikromorfologi kapang E.FIB.UI.1.1.1 berumur 8 hari di medium CDA pada suhu 27° C.....	59
Gambar 4.5.3(2)	Koloni E.FIB.UI.1.1.1 berumur 8 hari di medium CDA pada suhu 27° C.....	59
Gambar 4.5.3(3)	Mikromorfologi kapang E.FIB.UI.3.3 berumur 9 hari di medium CDA pada suhu 27° C.....	60
Gambar 4.5.3(4)	Hasil pengamatan koloni E.FIB.UI.2.1.2 berumur 9 hari di medium CDA pada suhu 27° C.....	60



## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1(1)	Isolasi dan pengambilan sampel dari lima manuskrip kuno kertas Eropa asal Perpustakaan FIB UI menghasilkan 17 isolat kapang di medium PCA pada hari ke-5hari, suhu 27° C.....	32
Tabel 4.1(2)	Hasil pemurnian pada medium DG18 Agar dengan penambahan <i>rose bengal</i> menghasilkan 11 isolat pada hari ke-5, suhu 27° C....	34
Tabel 4.3	Pengamatan pertumbuhan isolat-isolat kapang pada potongan kertas Eropa.....	38
Tabel 4.4	Pengamatan isolat kapang berumur 5 hari dengan substrat CMC setelah ditetaskan <i>Congo red</i> pada suhu 27° C.....	42
Tabel 4.5.1	Hasil pengamatan morfologi kapang E.FIB.UI.1.1.2, E.FIB.UI.1.2, E.FIB.UI.1.1.2, E.FIB.UI.4.2, dan E.FIB.UI.5.3 berumur 9 hari di medium CDA pada suhu 27° C.....	45
Tabel 4.5.2	Hasil pengamatan morfologi kapang E.FIB.UI.2.1.1, E.FIB.UI.2.1.2, dan E.FIB.UI.2.8 berumur 9 hari di medium CDA pada suhu 27° C.....	53

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Skema kerja .....	69
Lampiran 2	Standar warna Faber Castell .....	70
Lampiran 3	Hasil enumerasi isolat kapang dari manuskrip kertas Eropa pada medium PCA dengan penambahan <i>rose bengal</i> dan gliserol serta isolat kontrol pada medium PCA yang berumur 7 hari pada suhu 27° C.....	71
Lampiran 4	Diameter koloni pada medium pada medium DG18 Agar dengan penambahan <i>rose bengal</i> .....	72
Lampiran 5	Diameter koloni pada medium pada medium CDA.....	73

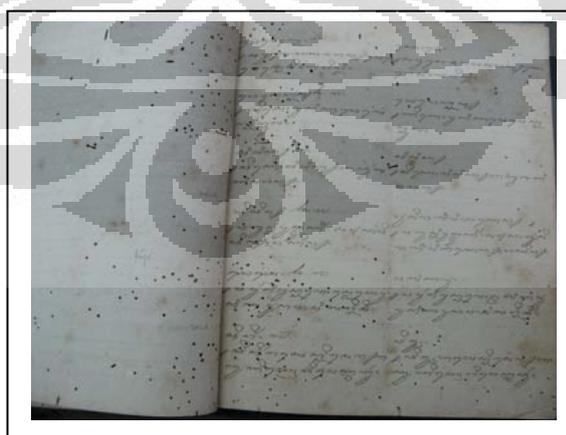
## BAB 1 PENDAHULUAN

Kapang adalah mikroorganisme dari kelompok fungi multiseluler dan membentuk filamen (Hogg 2005: 198). Kapang dapat diisolasi dari manuskrip (Valentine 2010: 4). Menurut Sulton (2011: 1), manuskrip merupakan benda bersejarah dan masuk dalam cagar budaya yang harus dilindungi keberadaannya. Fathurahman (2010: 1) menyatakan bahwa manuskrip (naskah) adalah peninggalan tertulis yang dimiliki oleh suatu wilayah. Indonesia merupakan salah satu negara terkaya di dunia yang mewarisi kekayaan manuskrip kuno dengan ragam bahasa dan aksara lokal yang menjadi identitas etnis masyarakat pemilikinya.

Manuskrip kuno banyak terbuat dari kertas Eropa. Razak dkk. (1992: 5) menyatakan kertas adalah lembaran dari serat selulosa alam atau buatan yang saling menempel dan menjalin serta telah mengalami pengerjaan penggilingan atau peleburan. Menurut Pudjiastuti (2006: 39), kertas Eropa adalah salah satu jenis kertas yang digunakan sebagai media tulis untuk aktivitas pemerintahan pada masa penjajahan bangsa Eropa di Asia. Kertas Eropa yang ada di Indonesia diimpor dari Belanda, ketika Belanda menjajah Indonesia. Kertas Eropa umumnya bergaris-garis dan memiliki *watermark* pada tiap lembarannya. Jaya (2011: 5) menyatakan *watermark* atau tanda air adalah benda yang disisipkan ke dalam suatu media sehingga media tersebut mudah dikenali tanpa merusak kegunaan dari media tersebut. Atja (1970 *lihat* Permadi 2005: 2) melaporkan kertas Eropa menjadi salah satu bahan dasar Manuskrip Tatar Sunda.

Manuskrip kuno mengandung banyak informasi mengenai agama, sejarah, hukum, adat-istiadat, obat-obatan, teknik, filsafat, dan sebagainya sehingga perlu dilestarikan (Irfan 2006: 2). Perpustakaan Fakultas Ilmu Pengetahuan Budaya Universitas Indonesia (FIB UI) memiliki koleksi manuskrip yang telah dikumpulkan oleh Dr. Th. Pigeaud dari tahun 1925 hingga 1942. Koleksi manuskrip FIB UI berjumlah 3.300 buah dan 167 di antaranya merupakan manuskrip dari kertas Eropa (Behrend & Pudjiastuti 1997: x).

Irfan (2006: 4--49) melakukan penelitian terhadap kondisi koleksi manuskrip kuno Perpustakaan FIB UI pada bulan November dan Desember tahun 2005. Penelitian tersebut melaporkan bahwa dari 369 buah manuskrip kuno yang diteliti, kondisi fisik manuskrip yang berada dalam keadaan baik berjumlah 47 buah (12,74%), sedang 292 buah (79,13%), dan buruk 30 buah (8,13%). Kondisi manuskrip kuno dapat dikatakan baik apabila memiliki ciri-ciri sampul masih baik, tidak robek, punggung buku tidak robek, punggung manuskrip terjilid dengan baik, kertas tidak robek, tidak terlipat, dan tidak ada lembaran yang hilang. Kondisi manuskrip kuno dapat dikatakan sedang apabila memiliki ciri-ciri sampul masih baik tetapi sudah ada tanda pecah-pecah pada punggung manuskrip kuno bagian dalam maupun luar, kertas ada yang robek, kertas terlihat kotor, dan sudah ada tanda-tanda kuning kecokelatan. Kondisi manuskrip kuno dapat dikatakan buruk apabila memiliki ciri-ciri sampul sudah tidak terjilid dengan baik, punggung manuskrip kuno sudah pecah-pecah dan ada yang punggung terlepas atau hilang, kertas berlubang dan robek, berwarna kuning kecokelatan, ada lembaran yang hilang, serta jahitan ada yang putus. Selain itu, dilaporkan juga bahwa dari 369 manuskrip kuno tersebut, sejumlah 165 (44,72%) diindikasikan terdapat kapang. Pada masa pra penelitian tanggal 24 Maret 2011 (Pra penelitian Maret hingga Mei 2011) ditemukan manuskrip kuno kertas Eropa di Perpustakaan FIB UI yang telah mengalami kerusakan yang diduga oleh kapang (Gambar 1.1).



Gambar 1.1. Kerusakan pada manuskrip kertas Eropa FIB UI  
[Sumber: Dokumentasi pribadi.]

Shamsian dkk. (2006 : 420) melaporkan kualitas manuskrip kuno semakin lama dapat semakin menurun akibat berbagai faktor. Berdasarkan Sahoo (1997:

107), faktor-faktor tersebut antara lain: faktor lingkungan (seperti cahaya, panas, kelembaban, debu, dan air), faktor biologi (seperti mikroorganisme, serangga, tikus, dan manusia), serta faktor kimia (kandungan senyawa seperti NO dan SO<sub>2</sub> di udara).

Manuskrip akan cepat hancur bila tidak dirawat dengan baik. Sahoo (1997: 107) menyebutkan kerusakan pada manuskrip termasuk ke dalam biodeteriorasi. Biodeteriorasi adalah kerusakan pada suatu bahan atau material yang disebabkan oleh makhluk hidup. Kerusakan pada bahan kertas dapat terlihat dengan adanya lubang, akumulasi debu dan kotoran, penyusutan, keretakan, kerapuhan, perubahan warna, dan lain-lain.

Shamsian dkk. (2006: 420) melaporkan faktor yang paling banyak menyebabkan biodeteriorasi pada manuskrip kuno di Museum Astan Quds, Iran adalah faktor biologi. Faktor biologi tersebut adalah adanya aktivitas dari mikroorganisme berupa kapang. Genus kapang seperti *Aspergillus* Fr. dan *Penicillium* Link; Fr. ditemukan paling banyak merusak manuskrip kuno. Menurut Sahoo (1997: 107), kapang yang tumbuh pada manuskrip kuno umumnya berwarna coklat atau hitam. Valentine (2010: 4) menyebutkan contoh kapang yang tumbuh pada manuskrip kuno kertas Eropa adalah *Aspergillus niger* Tiegh., *Penicillium* sp., *Cladosporium herbarum* (Pers.) Link, dan *Trichoderma viride* Pers. Michaelsen dkk. (2009: 162--164) mengidentifikasi beberapa kapang yang ditemukan pada Manuskrip Le Stanze del Bandello di Italia dari abad ke-16 (Gambar 1.2) yaitu *Aspergillus nidulans* Wint., *Aspergillus versicolor* (Vuill.) Tirab., dan *Penicillium* sp.



Gambar 1.2. Kerusakan pada Manuskrip Le Stanze del Bandello dari abad ke-16 oleh fungi  
[Sumber: Michaelsen dkk. 2009: 162.]

Preservasi harus dilakukan pada manuskrip agar tidak mudah mengalami kerusakan. Paolini (2006: 4--15) menyebutkan beberapa hal yang perlu dilakukan dalam melakukan preservasi sesuai dengan standar *United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization* (UNESCO). Standar tersebut antara lain: ruangan tempat penyimpanan manuskrip memiliki kelembaban relatif antara 50% hingga 60% dan suhu antara 16° hingga 20° C; koleksi manuskrip disimpan dalam lemari yang tertutup; ruangan tempat penyimpanan dibersihkan secara teratur minimal seminggu sekali; dan manuskrip yang sudah rapuh perlu disimpan di dalam kotak khusus dengan posisi datar.

Michaelsen dkk. (2009: 161) menyatakan fungi dapat tumbuh pada manuskrip karena memanfaatkan manuskrip sebagai substratnya. Fungi berfilamen memiliki kemampuan mendegradasi kertas yang berbahan dasar serat selulosa melalui aktivitas enzim selulolitik. Selain itu, kapang menghasilkan pigmen atau asam organik, sehingga mengotori dan merusak suatu substrat yang terbuat dari kertas. Berdasarkan Arroyo (2009: 43), contoh fungi selulolitik yang ditemukan pada kertas-kertas tua merupakan genus *Alternaria* (Fr.) Keissl., *Aspergillus* Fr., *Fusarium* Link, *Humicola* Traaen, *Myrothecium* Tode, *Penicillium* Link; Fr., dan *Stachybotrys* Corda. Contoh fungi non-selulolitik yang ditemukan merupakan genus *Chaetomium* Kunze.

Menurut Pinzari dkk. (2010: 10), sebagian besar kapang yang dapat tumbuh pada kertas adalah jenis kapang xerofilik. Kapang tersebut membutuhkan substrat pertumbuhan dengan nilai *water activity* ( $A_w$ ) yang rendah. Berdasarkan Madigan dkk. (2012: 142), xerofil adalah mikroorganisme yang mampu tumbuh pada lingkungan yang sangat kering atau memiliki nilai  $A_w$  rendah. *Food Tech Source* (2002: 1) melaporkan nilai  $A_w$  untuk kapang xerofil adalah 0,65 hingga 0,70.

Jo dkk. (2011: 129) melaporkan penapisan fungi penghasil selulase dengan sumber karbon utama selulosa menggunakan metode *plate assay*. Metode *plate assay* tersebut menggunakan medium yang mengandung polisakarida dan pewarna kromogenik. Ketika medium terhidrolisis, maka molekul pewarna tidak dapat berikatan kembali dengan polisakarida yang telah terdegradasi sehingga terbentuk zona bening. Yoon dkk. (2007: 21) menyatakan bahwa *plating assay* adalah metode penapisan yang sering digunakan untuk mendeteksi degradasi

polisakarida oleh mikroorganisme. Menurut Teather dan Wood (1982: 777), dasar dari metode *plating assay* adalah pembentukan senyawa kompleks antara polisakarida dan pewarna. Jo dkk. (2011: 129) dan Yoon dkk. (2007: 21) menggunakan pewarna kromogenik reaktif yaitu *Congo red*, *phenol red*, *remazol brilliant blue*, dan *tryphan blue*. Jo dkk. (2011: 129) menyatakan keuntungan metode *plate assay* adalah biayanya murah dan mudah dilakukan. Berdasarkan Yoon dkk. (2007: 21), metode *plate assay* dengan substrat kromogenik relatif mudah dilakukan dan dapat mendeteksi polisakarida secara spesifik.

Mikroorganisme yang diisolasi dari manuskrip kuno kertas Eropa dan mampu menghasilkan selulase perlu diketahui identitasnya. Untuk mengetahui identitas kapang dari manuskrip, dapat dilakukan identifikasi secara konvensional. Gandjar dkk. (2006: 212) menyebutkan identifikasi adalah membandingkan isolat yang belum diketahui dengan taksa yang ada untuk menentukan identitas. Samson dkk. (2004: 4, 24, & 42) melaporkan identifikasi kapang secara konvensional dapat dilakukan melalui pengamatan morfologi, antara lain: ada tidaknya alat reproduksi seksual dan aseksual; bentuk, ukuran, dan tipe spora atau konidia; struktur kapang; serta koloni kapang.

Pengambilan sampel kapang dari manuskrip kuno kertas Eropa dan daluang dari Perpustakaan FIB UI telah dilakukan pada masa pra penelitian. Pengambilan sampel dilakukan pada tanggal 24 Maret 2011. Ruangan koleksi manuskrip kuno memiliki suhu 16--18° C, kelembaban 53 %, dan pencahayaan yang sedikit redup. Kondisi tersebut dibuat konstan sepanjang waktu. Isolasi kapang dari lima manuskrip daluang telah dilakukan pada prapenelitian dan diperoleh 19 isolat kapang serta morfologinya telah diamati. Isolasi kapang telah dilakukan pada lima manuskrip kuno kertas Eropa. Manuskrip tersebut adalah Manuskrip Serat Ngabdoel Moeloek, Manuskrip Gramatica Dialect Pasaeraean, Manuskrip Dialekt Remb (2) Remb (3) Moentil (4), Manuskrip Dialekt Pernalang (32) Tulung Agung (34) Semarang (35) Serang (36) Banjarmasin (36a) Yogyakarta (36b), dan Manuskrip Damil Margi Ridja. Kondisi manuskrip-manuskrip tersebut secara umum banyak berlubang dan terdapat bercak cokelat kehitaman.

Kapang yang tumbuh pada manuskrip kuno dapat merusak manuskrip (Shamsian dkk. 2006 : 420). Kapang dari manuskrip kuno kertas Eropa asal

Perpustakaan FIB UI belum pernah diisolasi dan diidentifikasi. Selain itu, kapang-kapang tersebut belum diketahui apakah memiliki kemampuan selulolitik dan dapat memanfaatkan manuskrip kuno sebagai substratnya. Tujuan dari penelitian ini adalah memperoleh isolat kapang dari manuskrip kuno kertas Eropa asal Perpustakaan FIB UI, memperoleh kapang dari manuskrip kuno kertas Eropa tersebut yang memiliki kemampuan selulolitik dan memperoleh identitas kapang-kapang tersebut. Hipotesis penelitian ini adalah diperoleh isolat-isolat kapang dari manuskrip kuno kertas Eropa asal Perpustakaan FIB UI dan diketahui identitas kapang yang memiliki kemampuan selulolitik. Target utama penelitian ini adalah mengkonfirmasi bahwa isolat-isolat tersebut mampu menggunakan kertas Eropa sebagai substratnya. Kapang yang terbukti dapat hidup dan tumbuh pada manuskrip kertas Eropa asal Perpustakaan FIB UI menyebabkan kerusakan pada kertas Eropa. Identitas dari kapang yang telah diketahui tersebut dapat dimanfaatkan sebagai informasi dalam melakukan preservasi manuskrip di Perpustakaan FIB UI. Kapang-kapang yang telah teridentifikasi, diupayakan untuk dicegah pertumbuhannya. Selain itu, jika ditemukan kapang-kapang yang diketahui bersifat patogen maka dapat disarankan kepada kurator yang menyimpannya untuk menggunakan alat pelindung diri.

## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Fungi

Fungi merupakan mikroorganisme eukariot, kemoheterotrof, non motil, serta bereproduksi secara seksual dan aseksual. Dinding sel fungi secara umum tersusun atas glukukan dan kitin. Fungi tidak memiliki klorofil sehingga tidak dapat melakukan fotosintesis (Webster & Weber 2007: 1 & 33).

Fungi dapat hidup sebagai saprofit, yaitu memanfaatkan materi organik dari hewan atau tumbuhan yang telah mati (Black dkk. 2008: 319). Menurut Hogg (2005: 394), fungi berperan sebagai dekomposer di alam karena dapat menguraikan makhluk hidup yang mati dan hasil penguraian tersebut dapat digunakan kembali oleh makhluk hidup lain, seperti tumbuhan dan mikroorganisme lain. Berdasarkan Madigan dkk. (2012: 601), selain hidup sebagai saprofit, fungi juga dapat hidup sebagai parasit pada hewan atau tumbuhan. Fungi dapat memanfaatkan materi organik dari inangnya dan menyebabkan kematian inang tersebut. Fungi mensekresikan enzim ekstraseluler untuk mengubah senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana. Senyawa kompleks tersebut seperti polisakarida menjadi gula atau protein menjadi peptida dan asam amino, yang digunakan sebagai sumber karbon dan energi. Menurut Yoon dkk. (2007: 21), fungi sangat baik dalam menghasilkan berbagai enzim ekstraseluler untuk mendegradasi senyawa polimer yang ada di alam seperti selulosa, pektin, dan pati.

Secara taksonomi, fungi adalah kingdom *Eumycota* yang diklasifikasikan menjadi 5 filum berdasarkan spora seksualnya. Kelima filum tersebut adalah *Chytridiomycota*, *Zygomycota*, *Glomeromycota*, *Ascomycota*, dan *Basidiomycota*. Filum *Chytridiomycota* menghasilkan spora seksual berflagel yang disebut zoospora. Contoh spesies dari filum tersebut adalah *Basidiobolus ranarum* Eidam dan *Catenaria anguillulae* Sorokin. Filum *Glomeromycota* belum diketahui spora seksualnya. Contoh spesies dari filum tersebut adalah *Geosiphon pyriforme* (Kütz.) F. Wettst. Filum *Zygomycota* menghasilkan spora seksual berupa

zigospora. Contoh spesies dari filum tersebut adalah *Rhizopus sexualis* (G. Sm.) Callen dan *Thamnidium elegans* Link. Filum *Ascomycota* menghasilkan spora seksual berupa askospora. Contoh spesies dari filum tersebut adalah *Aspergillus fumigatus* Fres, *Sordaria macrospora* Auersw, dan *Neurospora crassa* Shear & B.O. Dodge. Filum *Basidiomycota* menghasilkan spora seksual berupa basidiospora. Contoh spesies dari filum tersebut adalah *Agaricus bisporus* (J.E. Lange) Imbach, *Coprinus cinereus* Beeli, dan *Sporobolomyces roseus* Kluyver dan Niel (Deacon 2006: 17--33). Fungi yang hanya ditemukan alat reproduksi aseksualnya berada pada fase anamorf. Fungi yang ditemukan alat reproduksi seksualnya berada pada fase teleomorf (Gandjar dkk. 2006: 202 & 221).

Terdapat tiga bentuk fungi yaitu khamir (*yeast*), kapang (*mold*), dan cendawan (*mushroom*) (Madigan dkk. 2012: 601). Khamir adalah kelompok fungi yang memiliki sel vegetatif uniseluler dan dapat membentuk miselium sejati atau palsu. Khamir termasuk ke dalam filum *Ascomycota* atau *Basidiomycota*. Cendawan adalah fungi yang memiliki tubuh buah yang dapat dilihat secara kasat mata. Sebagian besar kelompok cendawan termasuk ke dalam filum *Basidiomycota*, tetapi ada juga yang termasuk ke dalam filum *Ascomycota* (Gandjar dkk. 2006: 72, 84, & 142).

Kapang adalah fungi multiseluler yang membentuk filamen atau hifa (Hogg 2005: 198). Kumpulan hifa bercabang-cabang membentuk suatu jala yang disebut miselium. Miselium dapat dibedakan atas miselium vegetatif dan miselium fertil. Miselium vegetatif berfungsi menyerap nutrisi dari lingkungan. Miselium fertil berfungsi dalam bereproduksi, yaitu untuk memproduksi konidia atau spora (Gandjar dkk. 2006: 10 & 56). Spora aseksual yang dihasilkan oleh kapang seperti kladospora dan konidia. Spora seksual yang dihasilkan oleh kapang antara lain zigospora, askospora, dan basidiospora (Gandjar dkk. 1999: 2 & 5).

Fungi secara umum terbagi menjadi dua kelompok jika dilihat berdasarkan hifanya, yaitu hifa berseptum yang disebut *higher fungi* dan hifa tidak berseptum yang disebut *lower fungi*. *Higher fungi* memiliki hifa monositik yaitu hifa yang berseptum dan memiliki satu inti di setiap kompartemennya. *Lower fungi* memiliki hifa senositik yaitu tidak berseptum sehingga memiliki banyak inti (Gandjar dkk. 2006: 12). Hogg (2005: 199--200) menyatakan filum

*Chytridiomycota*, *Glomeromycota*, dan *Zygomycota* termasuk ke dalam *lower fungi*, sedangkan filum *Ascomycota* dan *Basidiomycota* termasuk ke dalam *higher fungi*.

## 2.2 Manuskrip Kuno dari Kertas Eropa

Teknik pembuatan kertas berkembang dari masa ke masa. Masa Homer yaitu kurang lebih abad 9 Sebelum Masehi (S. M.) telah menggunakan buku-buku besar yang tersusun dari lembaran-lembaran kayu dari pohon *citron*. Setiap lembaran dilapisi lilin, kapur, atau plester sehingga dapat ditorehkan dengan logam atau tulang yang runcing. Buku-buku tersebut disebut *codex* dan digunakan hingga abad ke 14 (Wirajaya 2009: 1). Negeri Timur menorehkan tulisan atau tanda-tanda pada bilah-bilah bambu kering yang diikat bersama membentuk *bundelan* (Bahari 1995 lihat Wirajaya 2009: 1). Bangsa Romawi dan negara-negara Timur menulis pada daun palem atau daun lain yang lebar dan bergaris. Setiap lembaran dilubangi dan diikat dengan tali untuk menjadi sebuah buku. Bangsa Latin menggunakan kulit pohon bagian dalam, dikenal dengan nama *liber* yang sekarang menjadi istilah *library*. Bangsa Indian menulis bahasa simbol dengan tongkat kayu dan cat cair pada kulit pohon *birch* putih dari Amerika Utara. Penduduk asli Amerika Selatan, termasuk Meksiko membuat semacam kertas dengan cara memukul kulit bagian dalam pohon *moraceous*. Naskah-naskah suku Mayan dan Aztec ditulis pada suatu bahan serupa kertas yang dibuat dengan cara memukul kulit pohon *fig* (*Ficus*) dan *mulberry* (*Morus*). Suku Mayan menyebut kertas kulit pohonnya dengan istilah *huun*. Suku Aztec telah membuat suatu zat yang disebut *amatl* dengan cara merebus lembar-lembar kulit pohon ke dalam suatu campuran yang kemudian dipukulkan dan ditorehkan pada lembaran-lembaran (Wirajaya 2009: 1).

Bangsa Mesir dari abad ke 3 hingga ke 5 S. M. menggunakan tanaman air *papyrus* yang dapat tumbuh tinggi mencapai 10 hingga 15 kaki dan membentuk segitiga secara bersilangan. Cara pembuatannya yaitu dengan membuang kulit batang, kemudian batang dipotong-potong hingga berukuran 40--45 cm. Bagian dalam batang diiris tipis-tipis kemudian dijajarkan menjadi pita-pita yang saling

tumpang tindih, selanjutnya ditumbuk dengan palu kayu (Bahari 1995 *lihat* Wirajaya 2009: 1).

*Parchment* adalah suatu bahan berupa lembaran yang terbuat dari kulit hewan dan dapat disimpan hingga ratusan tahun. *Parchment* digunakan untuk tulis menulis dari zaman klasik Yunani hingga abad pertengahan. Kata “*parchment*” berasal dari kata *Pergamum*, yaitu sebuah kota kuno Mysia di Asia Kecil. Para ilmuwan menyatakan bahwa *parchment* sudah digunakan sejak 1500 S. M., tetapi mulai digunakan untuk tulis menulis sejak 200 S. M. *Vellum* terbuat dari kulit anak sapi atau domba dan umumnya menggunakan seluruh bagian kulit tersebut (Wirajaya 2009: 1).

Orang pertama yang membuat kertas dari bubur kertas pertama kali tidak diketahui, tetapi bukti-bukti sejarah Cina menyebutkan Ts'ai Lun yang membuat kertas dengan teknik bubur kertas pertama kali pada tahun 105 (Hughes 1978 *lihat* Wirajaya 2009: 1). Pada tahun 600, pembuatan kertas tersebar dari Cina ke Korea, kemudian 15 tahun berikutnya sampai ke Jepang bersamaan dengan penyebaran bangsa-bangsa Cina ke timur. Teknik pembuatan kertas jatuh ke tangan orang-orang Arab pada masa Abbasiyah, ketika pasukan Dinasti Tang kalah dalam pertempuran sungai Talas pada tahun 751. Orang-orang Arab mendirikan pusat-pusat industri kertas di Baghdad dan Samarkand. Para ahli pembuat kertas pindah ke Timur, ke arah Damaskus kemudian ke Mesir dan Maroko, dan kota-kota industri lainnya hingga akhirnya menyebar ke Italia dan India (Sudardi 2003 *lihat* Wirajaya 2009: 1).

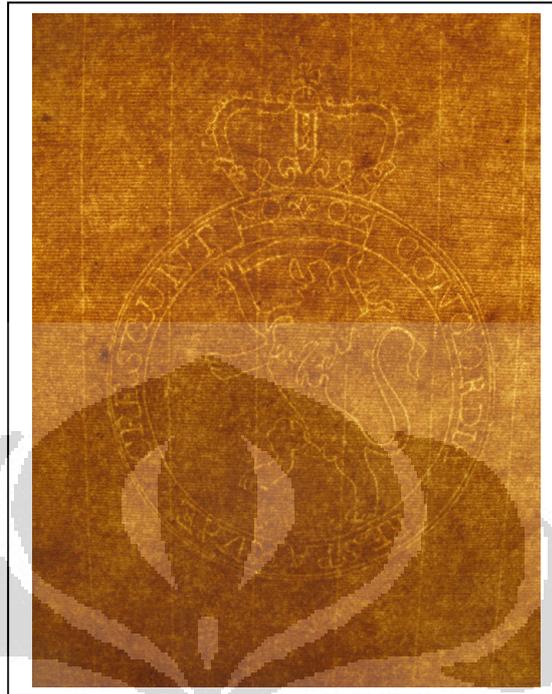
Teknik pembuatan kertas mencapai Eropa melalui tahap yang panjang. Eropa memperoleh pengetahuan tentang pembuatan kertas agak terlambat dibandingkan bangsa lain seperti Cina dan Mesir. Teknik pembuatan kertas masuk ke Eropa pada abad ke 12 atau ke 13 melalui Italia dan Spanyol setelah Perang Salib dan jatuhnya Grenada dari bangsa Moor ke tangan orang-orang Spanyol (Sudardi 2003 *lihat* Wirajaya 2009: 1). Spanyol mulai membuat kertas di Valencia pada abad ke 12, kemudian menyebar ke Troyes di Perancis. Pembuatan kertas di Italia berlangsung pada akhir abad ke 13 dan dibuat di pabrik Fabriano, yang saat ini masih melakukan produksi. Pada abad ke 15 Inggris juga mulai membuat kertas (Wirajaya 2009: 1). Pabrik kertas di Jerman mulai banyak

dibangun sejak tahun 1320, tepatnya di Cologne dan Mainz. Tahun 1390, didirikan pabrik kertas bernama Stomer yang terletak di kota Nuremberg, Jerman (Sudardi 2003 *lihat* Wirajaya 2009: 1). Pembuatan kertas menjadi suatu kerajinan di Belanda selama akhir abad ke 16. *Hollander beater* adalah sebuah alat yang dipakai untuk merendam dan menyiapkan bubur kertas pada abad ke 17. Perusahaan kertas yang paling terkenal bernama Van Gelder pada saat itu, dan hingga sekarang masih terus beroperasi menggunakan tenaga angin (*wind-driven paper mill*). Pabrik tersebut terletak di Westzaan dan dibangun pada tahun 1692 (Wirajaya 2009: 1).

Manuskrip kuno atau disebut juga naskah kuno adalah peninggalan tertulis pada zaman dulu berupa suatu kertas yang ditulis dan dimiliki masing-masing negara. Indonesia merupakan salah satu negara terkaya akan manuskripnya. Kekayaan manuskrip Indonesia dengan ragam bahasa dan aksara lokal menjadi identitas etnis masyarakat asal tempat manuskrip tersebut (Fathurahman 2010: 1). Manuskrip kuno merupakan benda bersejarah dan masuk dalam cagar budaya yang harus dilindungi akan keberadaannya (Sulton 2011: 1).

Manuskrip kuno dapat terbuat dari kertas Eropa yang sengaja dibawa oleh para penjajah ke daerah Asia Tenggara termasuk Indonesia. Menurut Jones dkk. (1993: 476--477) manuskrip kuno kertas Eropa yang ditulis dengan bahasa Melayu pertama ditemukan di Arsip Nasional *da Torre do Tombo* Lisbon, Portugis. Manuskrip tersebut diperkirakan ditulis pada tahun 1521 dan 1522. Kozok (2004: 41) melaporkan manuskrip kuno tersebut bernama Tanjung Tanah yang ditemukan di Ternate antara tahun 1521 dan 1522.

Kertas Eropa adalah kertas yang digunakan sebagai media tulis untuk aktivitas pemerintahan pada masa penjajahan oleh bangsa Eropa (Pudjiastuti 2006 *lihat* Rahman 2009: 3). Menurut Sudardi (2003 *lihat* Wirajaya 2009: 1) kertas Eropa memiliki *watermark* pada tiap lembarannya. Berdasarkan Jaya (2011: 5), *watermark* atau tanda air merupakan suatu benda yang disisipkan ke dalam suatu media sehingga media tersebut dapat dikenali tanpa merusak kegunaan dari media tersebut (Gambar 2.2). Sudardi (2003 *lihat* Wirajaya 2009: 1) melaporkan kertas tertua yang memiliki *watermark* berasal dari tahun 1346 dan sudah ditemukan 271 model *watermark* yang berasal dari Italia, Perancis, Switzerland, dan Jerman.



Gambar 2.2. Contoh *watermark* pada kertas Eropa berupa dokumen tua VOC dari abad ke-19 milik Perpustakaan Nasional Republik Indonesia [Sumber: Dokumentasi pribadi.]

Pada awalnya, kertas-kertas Eropa dibuat dari linen dan kapas kemudian direkatkan dengan lem yang terbuat dari kulit hewan. Johann Gutenberg mulai menggunakan teknik *press* cetak untuk menyesuaikan permukaan kertas Eropa yang keras dan kenyal. Pemakaian lem dari kulit hewan pada kertas sama seperti *parchment* dan *vellum* (Wirajaya 2009: 1). *National Park Service Museum Handbook* (2003 :6) melaporkan struktur dari kertas terbentuk dari jalinan serat yang membentuk seperti jaringan. Serat tersebut adalah selulosa. Senyawa kimia berupa perekat ditambahkan pada kertas agar dapat mengikat tinta dengan baik sehingga tidak luntur. Arroyo dkk. (2009: 43) juga telah melaporkan bahwa selulosa adalah komponen dasar penyusun kertas. Komponen-komponen lain yang mungkin ada adalah lignin, hemiselulosa, pektin, pewarna, protein, dan lain-lain.

### 2.3 Koleksi Manuskrip Kuno Perpustakaan Fakultas Ilmu Pengetahuan Budaya Universitas Indonesia

Perpustakaan Fakultas Ilmu Pengetahuan Budaya Universitas Indonesia (FIB UI) dahulu bernama Perpustakaan Fakultas Sastra Universitas Indonesia (FS UI) dan didirikan pada tahun 1940 bersamaan berdirinya Fakultas Sastra di Universitas van Indonesia yang terletak di jalan Merdeka Barat 13, Jakarta Pusat. Universitas van Indonesia berganti nama menjadi Universitas Indonesia (UI) pada tahun 1950. Perpustakaan Fakultas Sastra UI pindah ke Kampus Rawamangun, Jakarta Timur pada tahun 1960 hingga tahun 1987, kemudian dipindahkan ke UI Depok. Pada tahun 1987, Perpustakaan FS UI berubah nama menjadi Perpustakaan FIB UI sesuai dengan perubahan nama Fakultas Sastra menjadi Fakultas Ilmu Pengetahuan Budaya (FIB) pada tahun 2003. Perpustakaan FIB UI menempati sebuah gedung dengan luas 1.054 m<sup>2</sup> yang terdiri dari berbagai ruang koleksi, salah satunya adalah ruang koleksi manuskrip kuno (Perpustakaan Fakultas Ilmu Pengetahuan Budaya Universitas Indonesia 2009: 1). Sejak tanggal 1 April 2011, seluruh buku yang berada di perpustakaan fakultas dipindahkan ke Perpustakaan Pusat UI yang diresmikan pada bulan Agustus 2011 (Universitas Indonesia 2011: 4936).

Koleksi manuskrip FS UI pada awalnya disusun oleh Dr. Th. Pigeaud yang telah mengumpulkan manuskrip Jawa dari periode 1925 hingga 1942, saat menjabat sebagai pegawai bahasa pemerintah Belanda di Yogyakarta dan Surakarta. Pigeaud (Pigeaud 1933 *lihat* Behrend & Pujiastuti 1997: xi) menyatakan bahwa manuskrip Jawa tersebut dibeli atas permintaan *Koninklijk Bataviaasch Genootschap van Kunsten en Wetenschappen* (KBG). Pengumpulan dan pembeliannya dilakukan oleh Pigeaud dengan dibantu antara lain oleh J.L. Moens. Setelah Indonesia merdeka, koleksi manuskrip disimpan di Lembaga Penyelidikan Kebudayaan Indonesia (*Instituut voor Taal- en Cultuur-Onderzoek* = ITCO) yang bernaung di bawah Fakultas Sastra Universitas Indonesia. Pada tanggal 1 Juni 1959 ITCO memisahkan diri dari FS UI sehingga koleksi manuskrip Pigeaud menjadi koleksi FS UI. Koleksi manuskrip FS UI (sekarang

menjadi FIB UI) berjumlah 3.300 buah dan 167 di antaranya merupakan manuskrip dari kertas Eropa (Behrend & Pujiastuti 1997: x).

## 2.4 Isolasi Kapang Manuskrip

Tahap awal memperoleh isolat kapang manuskrip adalah melakukan pengambilan sampel (*sampling*). Menurut Fridah (2010: 1), pengambilan sampel merupakan suatu kegiatan, proses, atau teknik memilih sampel yang sesuai untuk keperluan studi. Pengambilan sampel bertujuan untuk mendapatkan suatu bagian yang representatif yaitu mewakili populasi tersebut sehingga dapat ditentukan parameter atau karakteristik dari keseluruhan organisme yang ada. Michaelsen dkk. (2008: 162 & 164) melaporkan pengambilan sampel pada manuskrip kuno dapat menggunakan metode *swab* dengan kapas. Menurut Michaelsen dkk. (2009: 70), spora kapang akan menempel pada kapas dan teknik tersebut tidak merusak manuskrip kuno serta mudah dilakukan. Pengambilan sampel pada satu manuskrip kertas Eropa dari abad ke-16 menghasilkan 10 spesies dari filum *Ascomycota* dan satu spesies dari filum *Zygomycota*.

Isolasi adalah cara pemisahan mikroorganisme tertentu dari lingkungannya untuk mendapatkan suatu isolat (Talaro & Talaro 2002: 70). Kapang yang akan dipelajari harus dipisahkan terlebih dahulu dari substrat pertumbuhannya atau dari lingkungan sekitarnya. Hasil isolasi diperoleh biakan murni yang sudah tidak bercampur dengan biakan lainnya. Biakan murni diperlukan dalam mempelajari morfologi, fisiologi, biokimia, genetika, dan informasi lainnya dari suatu spesies mikroorganisme (Gandjar dkk. 2006: 20 & 158).

Kapang yang tumbuh pada manuskrip dapat bersifat xerofilik. Berdasarkan Rosa dan Peter (2006: 377), xerofilik adalah sifat mikroorganisme yang hidup pada kondisi kering atau sedikit air. Ketersediaan air tidak hanya tergantung pada air di substrat atau medium, tetapi juga kandungan air di udara atau kelembaban. Menurut Gandjar dkk. (2006: 160), medium untuk menumbuhkan fungi xerofilik seperti *Eurotium herbariorum* (Wigg.) Link, *Wallemia sebi* (Fr.) Arx, dan *Aspergillus tamarii* Kita adalah medium *Dichloran 18% Glycerol Agar* (DG 18).

Medium DG 18 merupakan medium bagi kapang xerofilik yang menggunakan gliserol sebagai sumber karbon.

## 2.5 Selulase

Black (2008: 40) menyatakan selulosa adalah polimer dari glukosa yang ditemukan pada tumbuhan. Selulosa adalah karbohidrat yang merupakan polisakarida. Menurut Campbell dkk. (2002: 68--69), selulosa adalah komponen utama dinding keras yang menyelubungi sel-sel tumbuhan. Brindha dkk. (2011: 91) melaporkan selulosa didegradasi oleh enzim yang bernama selulase.

Menurut Brindha dkk. (2011: 91), selulase adalah enzim yang berfungsi untuk mengubah selulosa menjadi glukosa atau senyawa oligosakarida lain dan bekerja secara sinergis. Lynd dkk. (2002: 511) menyatakan selulase merupakan enzim kompleks yang terdiri dari tiga komponen. Ketiga komponen tersebut adalah endoglukanase atau 1,4- $\beta$ -D-glukan-4-glukanohidrolase (EC 3.2.1.4); eksoglukanase atau 1,4- $\beta$ -D-glukan-glukanohidrolase (dikenal dengan *cellodextrinases*) (EC 3.2.1.74) dan 1,4- $\beta$ -D-glukan-selobiohidrolase (dikenal dengan *cellobiohydrolases*) (EC 3.2.1.91); dan  $\beta$ -glukosidase atau  $\beta$ -glukosida glukohidrolase (EC 3.2.1.21). Ketiga komponen tersebut bekerja secara sinergis dan bersama-sama, sehingga mampu mengubah selulosa menjadi glukosa. Endoglukanase memutus situs  $\beta$ -1,4-glikosida rantai selulosa menjadi oligosakarida dengan banyak ujung rantai baru yang bervariasi. Eksoglukanase menguraikan selulosa dari ujung pereduksi dan non pereduksi, sehingga dihasilkan glukosa atau selobiosa sebagai produk utama. Eksoglukanase juga dapat bekerja pada selulosa mikrokristalin dan diprediksi dapat menguraikan rantai selulosa dari struktur mikrokristalin. Enzim  $\beta$ -glukosidase menghidrolisis *cellodextrins* dan mengubah selobiosa menjadi glukosa.

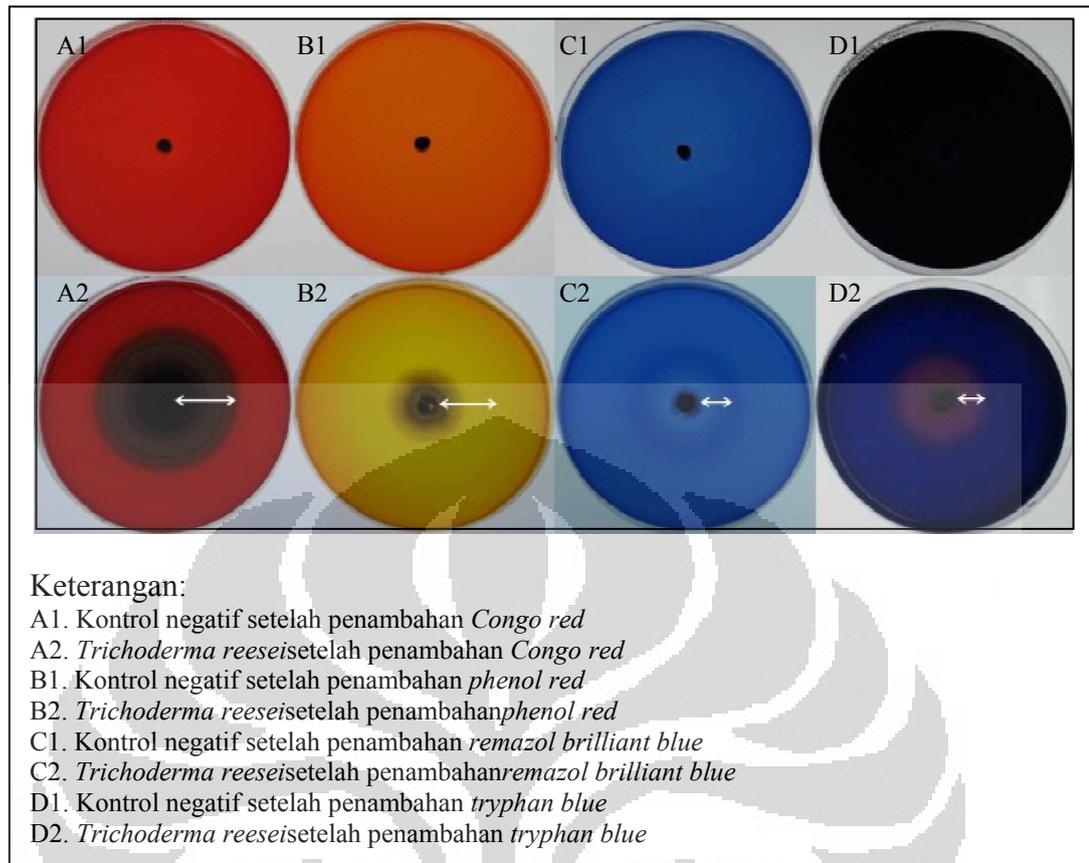
Arroyo (2009: 43) melaporkan selulosa merupakan komponen utama penyusun kertas. Kertas selain mengandung selulosa, juga mengandung lignin, hemiselulosa, pektin, *dyes*, atau protein. Kandungan senyawa tersebut tergantung pada cara pembuatannya. Kertas dapat ditumbuhi fungi yang memiliki kemampuan selulolitik dan non selulolitik. Fungi yang memiliki kemampuan

selulolitik seperti genus *Alternaria* Nees: Fr., *Aspergillus*, *Fusarium*, dan *Penicillium* mendegradasi selulosa pada kertas. Fungi non selulolitik mendegradasi senyawa lain pada kertas.

## 2.6 Penapisan Kemampuan Selulolitik

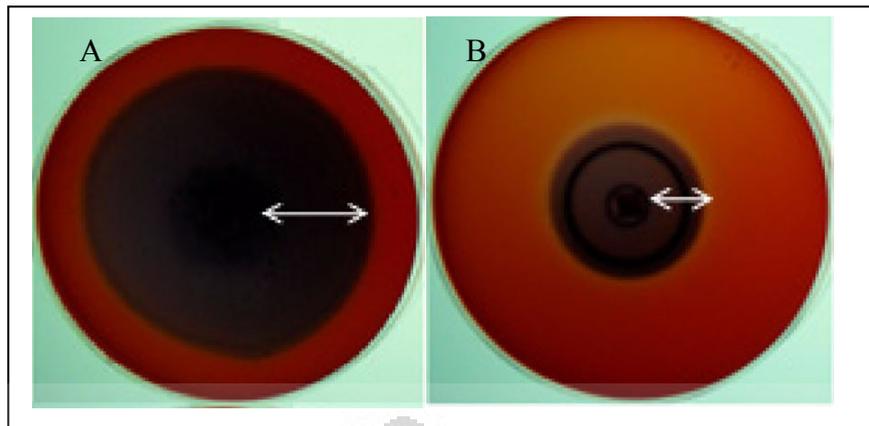
Penapisan dapat dilakukan untuk menguji kemampuan kapang dalam menghasilkan selulase baik secara kualitatif atau kuantitatif. Penapisan kemampuan selulolitik secara kualitatif dilakukan dengan melihat ada atau tidaknya pertumbuhan mikroorganisme pada substrat selulosa. Contoh metode penapisan kemampuan menghasilkan selulolitik secara kualitatif dengan melihat pertumbuhan pada *paper disc* (Oberkotter & Rosenberg 1978: 205--209). Metode penapisan kemampuan menghasilkan selulase secara kuantitatif dapat dilakukan dengan selulosa azur (Smith 1977: 980) dan *plate assay* dengan pewarna reaktif (Jo dkk. 2011: 129). Metode tersebut dilakukan dengan mengukur jumlah enzim selulase yang dihasilkan oleh mikroorganisme (Halliwell 1979: 23).

Yoon dkk. (2007: 21) dan Jo dkk. (2011: 129) menggunakan *plate assay* dengan 3 jenis medium basal dengan penambahan 4 jenis pewarna pada masing-masing medium tersebut. Ketiga jenis medium basal berupa polisakarida adalah *Carboxymethyl Cellulose* (CMC), *Avicel*, dan *Cellobiose*. Keempat jenis pewarna kromogenik yaitu *Congo red*, *phenol red*, *remazol brilliant blue*, dan *tryphan blue* ditunjukkan pada Gambar 2.6(1).



Gambar 2.6(1). *Trichoderma reesei* pada medium *Cellobiose* dengan keempat jenis pewarna kromogenik [Sumber: Yoon dkk. 2007: 23.]

Menurut Jo dkk. (2011: 129 & 132), medium polisakarida dapat berikatan dengan pewarna reaktif. Ketika polisakarida terhidrolisis, maka molekul pewarna tidak dapat berikatan kembali sehingga menghasilkan zona bening. Pewarna *Congo red* dapat digunakan untuk mendeteksi aktivitas selulolitik dari kapang *Ganoderma neo-japonicum*. Medium dengan pewarna *Congo red*, *phenol red*, dan *remazol brilliant blue* menunjukkan hasil positif pada ketiga substrat, tetapi medium dengan pewarna *tryphan blue* memberikan hasil negatif. Aktivitas selulolitik paling besar dari kapang *G. neo-japonicum* ditunjukkan pada medium dengan substrat *Cellobiose* yang mengandung pewarna *Congo red* pada suhu 25° C dan pH 7 (Gambar 2.6(2)).



Gambar 2.6(2). *Trichoderma*(A) dan *Ganoderma neo-japonicum* (B) pada substrat *Cellobiose* yang mengandung pewarna *Congo red* pada suhu 25° C dan pH 7

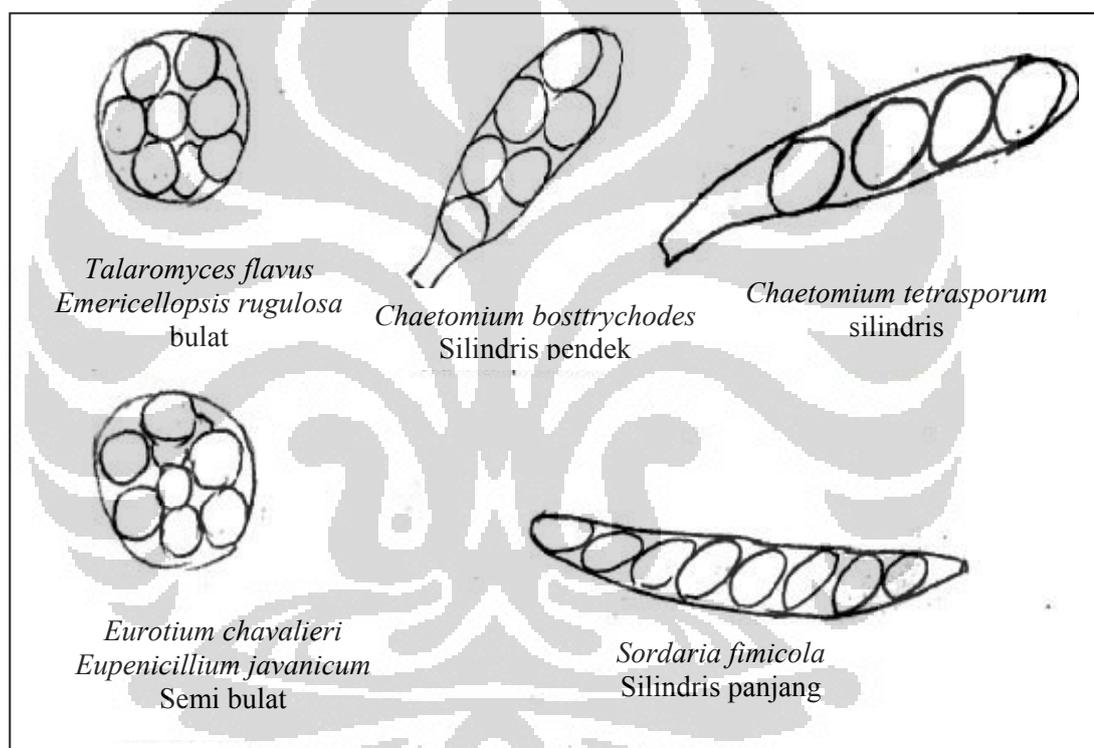
[Sumber: Jo dkk. 2011: 131.]

Yoon dkk. (2007: 24) menyatakan bahwa pewarna *Congo red* dapat digunakan untuk deteksi berbagai jenis fungi. Semua jenis kapang yang menunjukkan aktivitas selulolitik pada medium dengan pewarna *phenol red* atau *remazol brilliant blue* juga menunjukkan aktivitas selulolitik pada medium dengan pewarna *Congo red*. *Congo red* merupakan pewarna yang paling efektif untuk pengujian degradasi substrat CMC. Teather dan Wood (1982: 777) menyatakan *Congo red* dapat berikatan dengan polisakarida yang terdiri dari unit-unit glukosa yang dihubungkan oleh ikatan  $\beta$ -1,4 glukosida. Aktivitas selulolitik memutus ikatan  $\beta$ -1,4 glukosida dan menyebabkan *Congo red* tidak dapat lagi memberi warna pada substrat yang telah terhidrolisis, sehingga terbentuk zona bening.

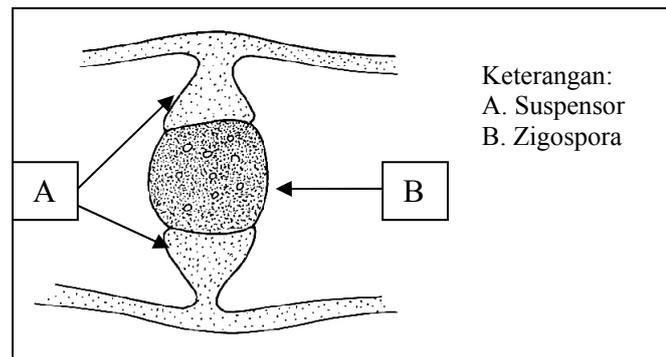
## 2.7 Identifikasi Kapang Secara Konvensional

Setiap makhluk hidup memiliki karakter kunci yang membedakan antara satu jenis dengan jenis lainnya untuk dikelompokkan berdasarkan suatu takson. Karakter makhluk hidup dapat diketahui dengan melakukan identifikasi. Identifikasi kapang secara konvensional dapat dilakukan dengan mengamati karakter morfologi kemudian dibandingkan dengan monograf (Barnett & Hunter 2003: x). Berdasarkan Pitt dan Hocking (2009: vii), identifikasi kapang secara konvensional pada tingkat genus dapat dilakukan dengan mengamati karakter

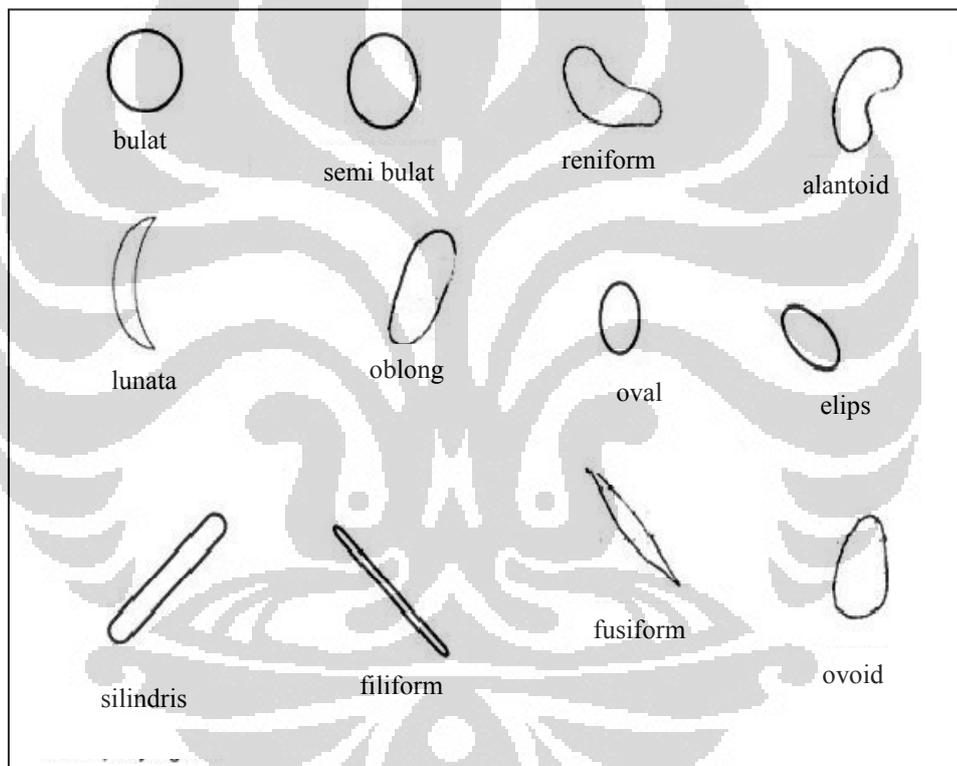
morfologi dan fisiologi pada medium pertumbuhan dan kondisi yang sesuai dengan monograf. Menurut Gandjar dkk. (1999: 4--5), Pitt, dan Hocking (2009: 53), karakter mikromorfologi yang penting adalah keberadaan, tipe, bentuk, serta ukuran spora seksual (Gambar 2.7(1) dan Gambar 2.7(2)), dan aseksual (Gambar 2.7(3)), ada tidaknya septa pada hifa, ukuran lebar hifa, dan tipe *conidiogenous cell*. Carlile dkk. (2001: 46) menyatakan apabila ditemukan spora seksual maka kapang tersebut sedang berada pada fase teleomorf. Pitt dan Hocking (2009: 43, 53, & 54) menyatakan apabila hanya ditemukan spora aseksual maka kapang tersebut sedang berada pada fase anamorf.



Gambar 2.7(1). Beberapa bentuk askus  
[Sumber: Gandjar dkk. 2006: 51 dengan modifikasi]



Gambar 2.7(2). Zigospora  
[Sumber: Maclean dan Maclean 2011: 1]



Gambar 2.7(3). Beberapa bentuk konidia  
[Sumber: Gandjar dkk. 2006: 61]

Menurut Barnett dan Hunter (2003: 64), apabila tidak ditemukan spora aseksual maupun seksual maka kapang tersebut adalah *mycelia sterilia*. Berdasarkan Gandjar dkk. (1999: 4--5), karakter makromorfologi kapang dapat diketahui berdasarkan warna, tekstur, keberadaan zonasi, keberadaan *radial furrow*, keberadaan *growing zone*, keberadaan *exudate drops*, dan waktu sporulasi serta sebalik koloni yang meliputi warna, keberadaan zonasi, dan *radial furrow*.

## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi, Departemen Biologi, FMIPA UI, Depok dan Laboratorium *Center of Excellence for Indigenous Biological Resources–Genome Studies* (CoE IBR-GS), UI, Depok, mulai bulan Februari hingga Juni 2012.

### 3.2 Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan adalah tabung reaksi, cawan petri, Erlenmeyer 1L, *beaker glass*, pipet tetes, mikropipet [Gilson], bulb, gelas ukur, skalpel, spatula, spatel *Drygalski*, jarum tanam tajam, jarum tanam bulat, batang pengaduk, *stainless steel cork borer*, *object glass*, *cover glass*, *marker pen*, gunting, *digital caliper*, *transfer box*, pembakar spiritus, *lighter*, kamera digital, Alat Pelindung Diri (jas laboratorium, masker, dan *goggles*), *autoclave* [Hirayama], oven [Heraeus], *refrigerator* [Gassio], kompor listrik [Sanyo], pemanas air [Sharp], timbangan digital [And EW-300 G], timbangan analitik [Sartorius], mikroskop trinokular [Carl-Zeiss], dan mikroskop cahaya [Boeco].

### 3.3 Bahan Penelitian

#### 3.3.1 Sampel

Sampel yang digunakan adalah kapang yang diisolasi dari 5 manuskrip kuno kertas Eropa asal Perpustakaan Fakultas Ilmu Budaya Universitas Indonesia, tanggal 24 Maret 2011. Manuskrip Eropa tersebut berjudul Manuskrip Serat Ngabdoel Moeloek dari abad ke-19, Manuskrip Gramatica Dialect Pasaeraean dari abad ke-19, Manuskrip Dialekt Remb (2) Remb (3) Moentil (4) dari abad ke-18,

Manuskrip Dialekt Pemalang (32) Tulung Agung (34) Semarang (35) Serang (36) Banjarmasin (36a) Yogyakarta (36b) dari abad ke-18, dan Manuskrip Damil Margi Ridja dari abad ke-19. Sampel lainnya yang digunakan adalah isolat *Aspergillus niger* UICC 371 sebagai kontrol positif dan *Rhizopus oryzae* UICC 24b sebagai kontrol negatif.

### 3.3.2 Medium

Medium yang digunakan adalah *Plate Count Agar* (PCA) [Britannia], *Plate Count Agar* (PCA) dengan penambahan *rose bengal*, *Potato Dextrose Agar* (PDA) [BD], *Dichloran 18% Glycerol Agar* (DG 18) dengan penambahan *rose bengal*, medium basal *Czapek's Dox Agar* (CDA), medium basal CDA dengan penambahan *Carboxymethyl Cellulose* (CMC), dan medium CDA. Medium PCA digunakan untuk isolasi kapang-kapang dari manuskrip kertas Eropa. Medium DG 18 dengan penambahan *rose bengal* digunakan untuk pemurnian kapang-kapang dari manuskrip kertas Eropa dan pengamatan morfologi secara makroskopik. Medium *Plate Count Agar* (PCA) dengan penambahan *rose bengal* digunakan untuk enumerasi suspensi spora kapang. Medium PDA digunakan untuk membuat *stock culture* dan *working culture*. Medium basal CDA dan medium basal CDA dengan substrat CMC digunakan sebagai medium untuk melakukan penapisan kapang selulolitik. Medium CDA digunakan untuk identifikasi kapang-kapang selulolitik.

### 3.3.3 Bahan Kimia

Bahan kimia yang digunakan adalah kertas Eropa berupa dokumen tua VOC dari tahun 1868 milik Perpustakaan Nasional Republik Indonesia dan memiliki *watermark* bertuliskan *WJ. Wymuller*, alkohol 70%, etanol 96% p.a. [Merck], kloramfenikol [Wako], tetrasiklin [Kimia Farma], *lactophenol cotton blue* [Merck], formalin teknis 4 %, dan pewarna *Congo red*.

### 3.3.4 Bahan Habis Pakai

Bahan habis pakai yang digunakan adalah plastik tahan panas [Bell], *cellotape* [Scotch], parafilm [M], tisu gulung, kertas label [Tom & Jerry], karet gelang, *cotton bud*, amplop kertas, plastik sampel, kapas, dan air.

## 3.4 Cara Kerja Penelitian

Skema kerja dapat dilihat pada Lampiran 1.

### 3.4.1 Pembuatan Medium

#### 3.4.1.1 *Plate Count Agar (PCA)*

Pembuatan medium PCA dilakukan mengikuti petunjuk yang terdapat pada label botol penyimpanan PCA. Medium PCA sebanyak 1.000 ml dibuat dengan cara melarutkan 23,5 g bubuk PCA dalam akuades. Campuran medium dipanaskan kemudian diaduk hingga homogen. Campuran disterilkan menggunakan autoklaf pada suhu 121° C dengan tekanan 2 atm selama 15 menit. Medium ditambahkan antibiotik tetrasiklin sebanyak 500 mg. Medium dituang ke dalam masing-masing cawan petri sebanyak 20 ml.

#### 3.4.1.2 *Plate Count Agar (PCA) dengan Penambahan Rose Bengal*

Pembuatan medium PCA dilakukan mengikuti petunjuk yang terdapat pada label botol penyimpanan PCA, namun ditambahkan gliserol 18% dan rose bengal. Medium PCA sebanyak 1.000 ml dibuat dengan cara melarutkan 23,5 g bubuk PCA dan *rose bengal* sebanyak 0,025 g ke dalam 700 ml akuades. Campuran medium dipanaskan dan diaduk hingga homogen. Medium yang telah homogen didiamkan hingga suhunya mencapai 40--50° C, kemudian ditambahkan 206 ml gliserol 87% dan air hangat hingga volume akhir mencapai 1.000 ml.

Campuran disterilkan menggunakan autoklaf pada suhu 121° C dengan tekanan 2 atm selama 15 menit. Medium ditambahkan antibiotik tetrasiklin sebanyak 500 mg. Medium dituang ke dalam masing-masing cawan petri sebanyak 20 ml.

#### 3.4.1.3 *Potato Dextrose Agar* (PDA)

Pembuatan medium PDA dilakukan mengikuti petunjuk yang terdapat pada label botol penyimpanan PDA. Medium PDA sebanyak 1.000 ml dibuat dengan cara melarutkan 39 g bubuk PDA dalam akuades. Campuran medium dipanaskan dan diaduk hingga homogen. Campuran medium ditambahkan 0,1 g kloramfenikol yang telah dilarutkan dengan 1 ml etanol 96% kemudian diaduk kembali hingga homogen. Medium sebanyak 6 ml dituangkan ke dalam tiap tabung reaksi menggunakan *dispenser*. Medium disterilkan menggunakan autoklaf pada suhu 121° C dengan tekanan 2 atm selama 15 menit. Medium dimiringkan dengan sudut kira-kira 30° dan didiamkan selama sehari.

#### 3.4.1.4 *Dichloran 18% Glycerol* (DG 18) *Agar* dengan Penambahan *Rose Bengal*

Pembuatan medium DG 18 *Agar* dilakukan berdasarkan Pitt dan Hocking (2009: 424). Medium DG 18 *Agar* sebanyak 1.000 ml dibuat dengan cara melarutkan 10 g glukosa, 5 g pepton, 1 g K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, 0,5 g MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 0,025 g *rose bengal* dan 15 g agar dalam 794 ml akuades. Campuran ditambahkan 206 ml gliserol 87% sehingga volumenya mencapai 1.000 ml. Campuran medium dipanaskan dan diaduk hingga homogen. Campuran medium ditambahkan 0,1 g kloramfenikol yang telah dilarutkan dengan 1 ml etanol 96% kemudian diaduk kembali hingga homogen. Medium disterilkan menggunakan autoklaf pada suhu 121° C dengan tekanan 2 atm selama 15 menit. Medium dituang ke dalam cawan petri masing-masing sebanyak 20 ml.

#### 3.4.1.5 Medium Basal *Czapek's Dox Agar* (CDA) Tanpa Sumber Karbon

Pembuatan medium berdasarkan Atlas (2010: 480) hanya tidak

ditambahkan sukrosa. Medium CDA sebanyak 1.000 ml dibuat dengan cara melarutkan 2 g NaNO<sub>3</sub>, 1 g K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, 0,5 g MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, 0,5 g KCl, 0,01 g FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, dan 15 g agar kemudian ditambahkan akuades hingga 1.000 ml. Campuran medium dipanaskan dan diaduk hingga homogen. Campuran medium ditambahkan 0,1 g kloramfenikol yang telah dilarutkan dengan 1 ml etanol 96% kemudian diaduk kembali hingga homogen. Medium disterilkan menggunakan autoklaf pada suhu 121° C dengan tekanan 2 atm selama 15 menit. Medium dituang ke dalam cawan petri masing-masing sebanyak 20 ml.

#### 3.4.1.6 Medium Basal *Czapek's Dox Agar* (CDA) dengan Penambahan CMC

Pembuatan medium berdasarkan Teather dan Wood (1982: 778) serta Atlas (2010: 480) yang telah dimodifikasi. Medium CDA sebanyak 1.000 ml dibuat dengan cara melarutkan 15 g agar, 2 g NaNO<sub>3</sub>, 1 g K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, 0,5 g MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, 0,5 g KCl, 0,01 g FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O kemudian ditambahkan akuades hingga 1.000 ml. Campuran medium dipanaskan dan diaduk hingga homogen. Campuran medium ditambahkan 0,1 g kloramfenikol yang telah dilarutkan dengan 1 ml etanol 96% kemudian diaduk kembali hingga homogen. Substrat CMC sebanyak 0,1% (w/v) ditambahkan ke dalam campuran medium kemudian diaduk kembali. Campuran disterilkan menggunakan autoklaf pada suhu 121° C dengan tekanan 2 atm selama 15 menit. Medium dituang ke dalam cawan petri masing-masing sebanyak 20 ml.

#### 3.4.1.7 Medium *Czapek's Dox Agar* (CDA)

Pembuatan medium berdasarkan Atlas (2010: 480). Medium CDA sebanyak 1.000 ml dibuat dengan cara melarutkan 30 g sukrosa, 2 g NaNO<sub>3</sub>, 1 g K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, 0,5 g MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, 0,5 g KCl, 0,01 g FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, dan 15 g agar kemudian ditambahkan akuades hingga 1.000 ml. Campuran medium dipanaskan dan diaduk hingga homogen. Campuran medium ditambahkan 0,1 g kloramfenikol yang telah dilarutkan dengan 1 ml etanol 96% kemudian diaduk kembali hingga homogen. Medium disterilkan menggunakan autoklaf pada suhu 121° C dengan tekanan 2 atm selama 15 menit. Medium dituang ke dalam cawan petri masing-masing sebanyak 20 ml.

### 3.4.2 Pengambilan Sampel Kapang

Sampel kapang manuskrip kertas Eropa diambil menggunakan metode *non invasive sampling* berdasarkan Pinzari dkk. (2010: 8), yaitu dengan melakukan *swab* (pengolesan) pada bagian manuskrip menggunakan *cotton bud* steril. Bagian manuskrip tersebut adalah *cover* depan, *cover* belakang, ketebalan atas, ketebalan samping, ketebalan bawah, punggung buku, dan bagian dalam. Pemilihan daerah sampel adalah bagian manuskrip yang terdapat bercak-bercak kuning atau coklat. *Cotton bud* berisi olesan dimasukkan ke dalam plastik *zipper* secara terpisah kemudian dimasukkan ke dalam amplop steril. Sampel disimpan pada lemari pendingin dengan suhu 4° C.

### 3.4.3 Isolasi Kapang dari Manuskrip

Isolasi kapang dari manuskrip kertas Eropa berdasarkan Michaelsen dkk. (2009: 162--163) yang telah dimodifikasi. Modifikasi yang dilakukan adalah tidak mengoles langsung sampel *cotton bud* ke medium, tetapi mengambil sebagian *cotton bud* kemudian diletakkan pada medium DG 18. Setiap manuskrip membutuhkan 2 medium petri yang dibagi menjadi 4 kuadran sehingga ada 8 kuadran untuk setiap manuskrip. Pada setiap kuadran diletakkan *cotton bud* yang berasal dari satu bagian manuskrip. Kuadran pertama untuk sampel *cover* depan, kuadran kedua untuk *cover* belakang, kuadran ketiga untuk ketebalan atas, kuadran keempat untuk ketebalan samping, kuadran kelima untuk ketebalan bawah, kuadran keenam untuk punggung buku, kuadran ketujuh dan kuadran kedelapan untuk bagian dalam. Pengerjaan isolasi dilakukan secara aseptis. Cawan petri diinkubasi pada suhu ruang (27° C). Koloni yang tumbuh pada kapas dan daerah di sekitar kapas yang diletakkan selanjutnya dimurnikan.

### 3.4.4 Permuanian Isolat Kapang dari Manuskrip

Permuanian dilakukan berdasarkan Pinzari dkk. (2010: 10) yang telah dimodifikasi. Hifa dan konidia diambil menggunakan jarum tanam tajam dan dimasukkan ke dalam akuades steril 5 ml, kemudian dibuat menjadi suspensi.

Suspensi dihomogenkan dengan vorteks. Satu ose suspensi diambil dan dilakukan *streak* pada medium DG 18 *Agar* di cawan petri secara aseptis. Inokulasi kapang dilakukan pada *streak* pertama. *Streak* diulangi sebanyak dua kali tanpa inokulasi kapang. Ose dibakar setiap selesai melakukan *streak* dan akan melakukan *streak* selanjutnya. Pengulangan permurnian dilakukan dua sampai tiga kali hingga diperoleh koloni tunggal yang tidak terkontaminasi. Cawan petri diinkubasi pada suhu ruang (27° C) dalam keadaan terbalik. Pemurnian dilakukan 2 atau 3 kali hingga diperoleh koloni tunggal yang representatif.

#### 3.4.5 Pembuatan *Stock* dan *Working Culture*

Pembuatan *stock culture* dan *working culture* dilakukan berdasarkan Cappuccino dan Sherman (2002: 7). *Stock culture* dan *working culture* dibuat dengan menginokulasikan biakan murni pada medium miring PDA 6 ml. *Stock culture* dibuat untuk pemeliharaan isolat dan diinkubasi pada suhu 4° C. *Working culture* dibuat untuk pembuatan suspensi kapang sebagai tahapan pengerjaan penapisan kemampuan selulolitik. Selain itu, *working culture* juga digunakan untuk membuat *stock culture* berikutnya. Tabung *stock culture* dan *working culture* diberi label yang berisi informasi mengenai nama/ kode isolat, tanggal inokulasi, dan medium yang digunakan.

#### 3.4.6 *Total Plate Count* (TPC)

Enumerasi dengan metode *Total Plate Count* (TPC) dilakukan berdasarkan Hogg (2005: 91--92). Enumerasi jumlah spora isolat kapang dari manuskrip kertas Eropa dilakukan untuk menghitung spora pada inokulum. Persiapan isolat dengan melakukan *streak* 15 gores pada medium miring PDA kemudian diinkubasi pada suhu 27° C hingga kapang bersporulasi. Akuades steril sebanyak 5 ml ditambahkan ke dalam biakan kemudian dihomogenkan dengan vorteks. Suspensi diencerkan hingga faktor pengenceran  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$ , dan  $10^{-6}$  dengan akuades steril. Sebanyak 0,1 ml dari setiap suspensi yang telah diencerkan, dituang pada medium PCA di cawan petri kemudian disebar dengan spatel *Drygalski*. Inkubasi dilakukan selama dua hari pada suhu 27° C. Faktor

pengenceran dilakukan masing-masing tiga kali pengulangan. Penghitungan *Colony Forming Unit* (CFU) berdasarkan Hogg (2005: 91--93), dilakukan dengan rumus:

$$\text{Jumlah CFU/ml} = \frac{\text{Jumlah rata-rata koloni yang tumbuh}}{\text{Volume inokulum x faktor pengenceran}}$$

#### 3.4.7 Penapisan Isolat Kapang Tumbuh pada Kertas Eropa

Penapisan isolat kapang selulolitik dengan substrat potongan kertas Eropa menggunakan metode *paper disc* berdasarkan Oberkotter dan Rosenberg (1978: 205--209) yang telah dimodifikasi. Kertas Eropa dipotong-potong berukuran 1,25 cm x 1,25 cm kemudian dimasukkan ke dalam cawan petri. Potongan kertas Eropa disterilkan dengan autoklaf pada suhu 121° C dengan tekanan 2 atm selama 15 menit kemudian dikeringkan menggunakan oven. Potongan kertas diletakkan di atas medium basal CDA dalam cawan petri yang telah mengeras secara aseptis. Suspensi spora sebanyak 20 µl dengan jumlah 1 x 10<sup>7</sup> sel/ml diteteskan di atas substrat kertas Eropa secara aseptis. *Aspergillus niger* UICC 371 digunakan sebagai kontrol positif dan *Rhizopus oryzae* UICC 24b digunakan sebagai kontrol negatif. Biakan diinkubasi pada suhu ruang 27° C. Hasil positif diindikasikan dengan pertumbuhan hifa di atas potongan kertas. Hasil negatif diindikasikan dengan tidak ada pertumbuhan hifa di atas potongan kertas.

#### 3.4.8 Penapisan Isolat Kapang Selulolitik dengan Substrat *Carboxymethyl Cellulose* (CMC)

Penapisan isolat kapang selulolitik dengan substrat CMC berdasarkan metode Teather dan Wood (1982: 777--780) yang telah dimodifikasi. Medium basal CDA dengan substrat CMC yang telah mengeras dalam cawan petri dibuat sumur hingga ke dasar cawan petri menggunakan *stainless steel cork borer* secara aseptis. Suspensi spora sebanyak 80 µl dengan jumlah 1 x 10<sup>7</sup> sel/ml diteteskan ke dalam sumur. *Aspergillus niger* UICC 371 digunakan sebagai kontrol positif dan *Rhizopus oryzae* UICC 24b digunakan sebagai kontrol negatif. Biakan

diinkubasi pada suhu 27° C selama 5 hari. Pada hari keenam, sebanyak 2 ml larutan *Congo red* 0,2% steril ditetaskan ke seluruh bagian permukaan medium uji. Biakan dibiarkan selama 15 menit hingga pewarna *Congo red* meresap ke dalam medium. Sisa larutan *Congo red* diambil kembali dengan pipet. Biakan yang telah ditetesi *Congo red* diinkubasi kembali selama 24 jam pada suhu 27° C, kemudian diamati. Isolat kapang dengan kemampuan selulolitik akan membentuk zona bening di sekitar koloni yang menunjukkan hasil positif. Zona bening tidak terwarnai oleh *Congo red* karena selulosa di sekitar koloni telah terdegradasi. *Congo red* hanya memberi warna pada selulosa. Hasil negatif ditunjukkan dengan tidak ada zona bening di sekitar koloni. Pengukuran diameter zona bening menggunakan *digital caliper* dan dilakukan tiga kali pengulangan. Diameter koloni kapang adalah setara dengan diameter luar *stainless steel cork borer* (0,93 cm). Keberadaan selulase ditentukan melalui rumus Indeks Aktivitas Selulase berdasarkan Kader dan Omar (1998: 3) dan Standard Deviasi sebagai berikut:

$$\text{IAS} = \frac{\text{diameter zona bening} - \text{diameter koloni kapang}}{\text{diameter koloni kapang}}$$

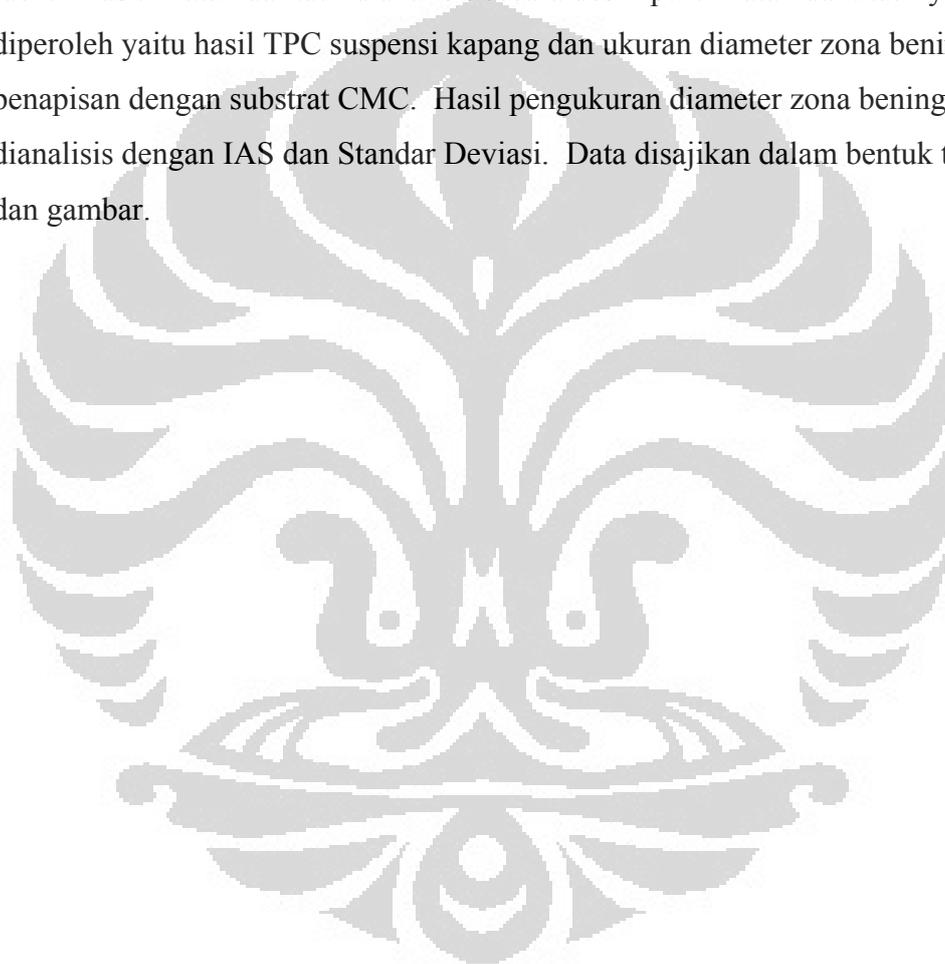
#### 3.4.9 Identifikasi Isolat Kapang

Identifikasi dilakukan dengan membandingkan morfologi isolate kapang yang diperoleh dengan deskripsi kapang dalam monograf *Illustrated genera of imperfect fungi* oleh Barnett dan Hunter (2003) serta monograf *Introduction to food and airborne-fungi* oleh Samson dan Hoekstra (2004). Identifikasi dilakukan melalui pengamatan karakter morfologi secara mikroskopik dan makroskopik. Pengamatan karakter morfologi secara mikroskopik pada preparat kapang dengan mengamati keberadaan, tipe, bentuk, serta ukuran spora seksual dan aseksual. Selain itu, juga diamati ada tidaknya septa pada hifa, ukuran lebar hifa, dan ukuran spora aseksual khusus (misalnya klamidospora). Kapang ditumbuhkan pada medium CDA hingga kapang bersporulasi. Pengamatan karakter morfologi secara makroskopik berdasarkan Benson (2001) pada medium CDA hingga hari ketujuh dengan mengamati warna koloni, tekstur, keberadaan zonasi, keberadaan *radial furrow*, keberadaan *growing zone*, keberadaan *exudate drops*, dan waktu

sporulasi. Pengamatan sebalik koloni dengan mengamati warna, keberadaan zonasi, dan *radial furrow*.

#### 3.4.10 Analisis Data

Data yang diperoleh bersifat kualitatif dan kuantitatif. Data kualitatif yang diperoleh yaitu hasil isolasi, hasil penapisan substrat kertas Eropa, dan hasil identifikasi. Data kualitatif dianalisis secara deskriptif. Data kuantitatif yang diperoleh yaitu hasil TPC suspensi kapang dan ukuran diameter zona bening hasil penapisan dengan substrat CMC. Hasil pengukuran diameter zona bening dianalisis dengan IAS dan Standar Deviasi. Data disajikan dalam bentuk tabel dan gambar.



## BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pengambilan Sampel dan Isolasi Kapang dari Manuskrip Kuno Kertas Eropa

Lima manuskrip kuno dipilih secara acak untuk dilakukan pengambilan sampel pada 24 Maret 2011. Kelima manuskrip kuno tersebut adalah manuskrip Manuskrip Serat Ngabdoel Moeloek, Manuskrip Gramatica Dialect Pasaeraean dari Perpustakaan, Manuskrip Dialekt Remb (2) Remb (3) Moentil (4), Dialekt Pemalang (32) Tulung Agung (34) Semarang (35) Serang (36) Banjarmasin (36a) Yogyakarta (36b), dan Manuskrip Damil Margi Ridja dari Perpustakaan Fakultas Ilmu Pengetahuan Budaya Universitas Indonesia. Daerah kertas pada manuskrip untuk pengambilan sampel memperlihatkan bercak-bercak cokelat atau hitam yang diduga terdapat kapang. Ciri-ciri kerusakan kertas disebabkan oleh kapang adalah terdapat noda yang memberi warna berbeda dengan warna aslinya. Pemilihan metode *swab* yang dilakukan termasuk ke dalam metode *non invasive sampling* karena pengolesan dilakukan hanya bagian permukaan kertas saja. Menurut Pinzari dkk. (2010: 8), metode *non invasive sampling* hanya dilakukan pada bagian permukaan manuskrip. Michaelsen dkk. (2009: 162) melaporkan untuk memperoleh kapang manuskrip, *cotton bud* steril dioleskan pada bagian kertas yang terlihat rusak karena kapang. Michaelsen dkk. (2010: 70) menyatakan teknik *non invasive sampling* tidak merusak manuskrip dan mudah dilakukan, selain itu juga diharapkan spora kapang menempel pada kapas.

Untuk menumbuhkan kapang hasil *swab* digunakan medium umum *Plate Count Agar* yang telah ditambahkan antibiotik tetrasiklin. Pemberian antibiotik bertujuan untuk membunuh bakteri yang mungkin menempel pada kapas karena isolasi hanya bertujuan memperoleh isolat kapang. Brock dkk. (2012: 183) menyatakan antibiotik seperti kloramfenikol dan tetrasiklin menghambat sintesis protein oleh ribosom bakteri. Mueller dkk. (2004: 340) menyatakan kloramfenikol adalah *broad spectrum antibiotics* yang bekerja untuk menghambat bakteri Gram positif dan Gram negatif.

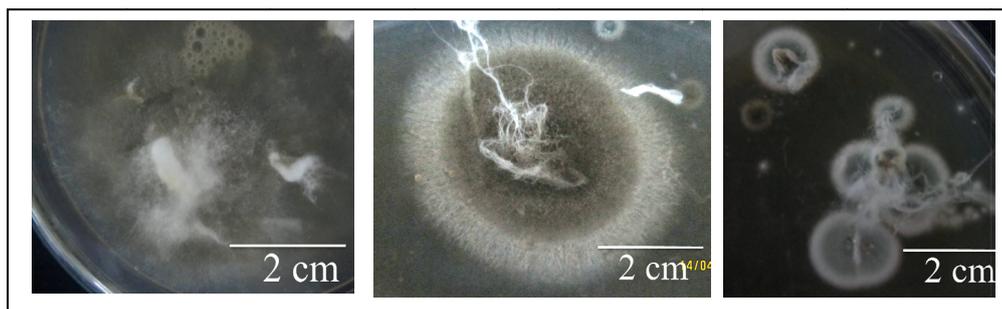
Pada hari kelima cawan petri PCA berisi hasil *swab* menunjukkan adanya pertumbuhan kapang dari setiap manuskrip di bagian tertentu. Kapang kemungkinan berasal dari manuskrip karena menunjukkan pertumbuhan di sekitar kapas. Hasil isolasi dapat dilihat pada Tabel 4.1(1). Michaelsen dkk. (2009: 164) melakukan peleta kan sebagian dari kapas secara langsung pada medium di cawan petri untuk mengisolasi mikroorganismenya dari manuskrip. Menurut Pinzari dkk. (2010: 10), kapas hasil *swab* mungkin mengandung spora dan hifa kapang dari manuskrip.

Tabel 4.1(1). Isolasi dan pengambilan sampel dari lima manuskrip kuno kertas Eropa asal Perpustakaan FIB UI menghasilkan 17 isolat kapang di medium PCA pada hari ke-5, suhu inkubasi 27° C

Nama manuskrip	Kondisi awal manuskrip	Bagian manuskrip	Jumlah per bagian manuskrip	Jumlah total dari satu manuskrip	Kode isolat
Serat Ngabdoel Moeloek	Sampul cukup baik, jilidan sudah rusak, bagian tengah dan tepi terdapat bercak coklat dan hitam (kategori sedang)	Cover depan	2	4	E.FIB.UI.1.1.1
		Cover belakang	1		E.FIB.UI.1.1.2
		Ketebalan atas	-		
		Ketebalan samping	-		
		Ketebalan bawah	1	E.FIB.UI.1.5	
		Punggung	-		
		Bagian dalam	-		
Gramatica Dialect Pasaeraean	Sampul dan jilidan sudah rusak, bagian dalam di tepi dan tengah terdapat bercak coklat dan berlubang (kategori buruk)	Cover depan	2	6	E.FIB.UI.2.1.1
		Cover belakang	1		E.FIB.UI.2.1.2
		Ketebalan atas	2	E.FIB.UI.2.3.1	
		Ketebalan samping	-		
		Ketebalan bawah	-		
		Punggung	-		
		Bagian dalam	1	E.FIB.UI.2.8	

Nama manuskrip	Kondisi awal manuskrip	Bagian manuskrip	Jumlah per bagian manuskrip	Jumlah total dari satu manuskrip	Kode isolat
Dialekt Remb (2) Remb (3) Moentil (4)	Sampul dan jilidan cukup baik, bagian dalam pada tengah berwarna kuning kecokelatan, berlubang (kategori sedang)	<i>Cover</i> depan	-	1	E.FIB.UI.3.3
		<i>Cover</i> belakang	-		
		Ketebalan atas	1		
		Ketebalan samping	-		
		Ketebalan bawah	-		
		Punggung	-		
Dialekt Pemalang (32) Tulung Agung (34) Semarang (35) Serang (36) Banjarmasin (36a) Yogyakarta (36b)	Sampul dan jilidan sudah rusak, bagian dalam penuh bercak-bercak hitam (kategori buruk)	<i>Cover</i> depan	-	3	E.FIB.UI.4.2 E.FIB.UI.4.3 E.FIB.UI.4.6
		<i>Cover</i> belakang	1		
		Ketebalan atas	1		
		Ketebalan samping	-		
		Ketebalan bawah	-		
		Punggung	1		
Damil Margi Ridja	Sampul dan jilidan masih cukup baik, bagian dalam hanya sedikit bercak coklat (kategori sedang)	<i>Cover</i> depan	-	3	E.FIB.UI.5.3 E.FIB.UI.5.3.2 E.FIB.UI.5.4
		<i>Cover</i> belakang	-		
		Ketebalan atas	2		
		Ketebalan samping	1		
		Ketebalan bawah	-		
		Punggung	-		
	Bagian dalam	-			

Kapang yang diisolasi adalah kapang yang tumbuh di sekitar kapas, karena diduga berasal dari spora yang menempel pada kapas sampel. Sampel kapas dari Manuskrip Gramatica Dialect Pasaeraean yang ditumbuhkan pada medium PCA menunjukkan pertumbuhan kapang (Gambar 4.1(1)).



Gambar 4.1(1). Isolat kapang dari manuskrip Gramatica Dialect Pasaeraean pada hari kelima di medium PCA pada suhu 27° C  
[Sumber: Data pribadi.]

Isolat-isolat kapang yang telah diperoleh kemudian dimurnikan pada medium DG 18 *Agar* dengan penambahan *rose bengal* untuk memperoleh kapang xerofilik. Hasil pemurnian dapat dilihat pada Tabel 4.1(2). Berdasarkan Atlas (2010: 593), DG 18 *Agar* berfungsi untuk menumbuhkan kapang xerofilik dari tempat yang kering. Penambahan *rose bengal* atau dikloran berfungsi untuk menghambat pertumbuhan kapang non xerofilik. Valentin (2010: 2) menyatakan fungi xerofilik yang ada pada bahan seperti kertas dapat hidup dengan nilai  $A_w$  sekitar 0,60 sehingga diperlukan medium yang sesuai untuk isolasi fungi xerofilik.

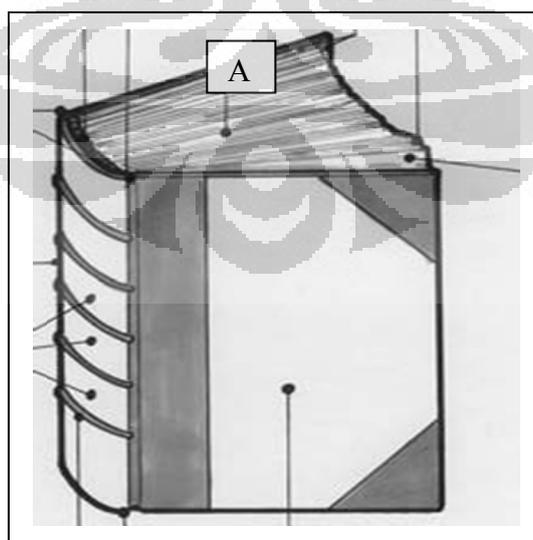
Tabel 4.1(2). Hasil pemurnian pada medium DG18 *Agar* dengan penambahan *rose bengal* menghasilkan 11 isolat pada hari ke-5, suhu 27° C

No	Nama manuskrip	Kode isolat
1		E.FIB.UI.1.1.1
2	Serat Ngabdoel Moeloek	E.FIB.UI.1.1.2
3		E.FIB.UI.1.2
4		E.FIB.UI.2.1.1
5	Gramatica Dialect Pasaeraean	E.FIB.UI.2.1.2
6		E.FIB.UI.2.2
7		E.FIB.UI.2.8
8	Dialekt Remb (2) Remb (3) Moentil (4)	E.FIB.UI.3.3
9	Dialekt Pernalang (32) Tulung Agung (34) Semarang	E.FIB.UI.4.2
10	(35) Serang (36) Banjarmasin (36a) Yogyakarta (36b)	E.FIB.UI.4.3
11	Damil Margi Ridja	E.FIB.UI.5.3

Kapang yang paling banyak diisolasi berasal dari Manuskrip Gramatica Dialect Pasaeraean. Kondisi awal manuskrip tersebut yaitu sampul dan jilidan sudah rusak, bagian dalam di tepi dan tengah terdapat bercak cokelat serta

berlubang. Manuskrip Gramatica Dialect Pasaeraean termasuk ke dalam kategori buruk. Manuskrip yang kondisinya termasuk ke dalam kategori baik, yaitu Manuskrip Dialekt Remb (2) Remb (3) Moentil (4) hanya menghasilkan 1 isolat kapang. Sampul dan jilidan pada manuskrip tersebut cukup baik, bagian dalam pada tengah berwarna kuning kecokelatan yang diduga karena fungi dan ada lubang karena serangga. Berdasarkan pengamatan, kondisi manuskrip yang buruk ketika dilakukan pengambilan sampel pada isolasi menghasilkan isolat kapang yang lebih banyak. Kapang yang berhasil diisolasi diduga sebagai penyebab kerusakan pada manuskrip tersebut. Kapang dapat memanfaatkan senyawa penyusun manuskrip untuk pertumbuhannya. Sahoo (1997: 107) menyatakan manuskrip dapat rusak karena fungi dengan indikasi terdapat bercak-bercak coklat atau hitam. Shamsian dkk. (2006: 420) melaporkan kualitas manuskrip yang semakin lama semakin menurun karena fungi.

Isolat kapang yang paling banyak diperoleh dari bagian sisi atas manuskrip (Gambar 4.1(2)). Hal tersebut dapat terjadi karena manuskrip kuno disimpan dengan bagian sisi atas yang terpapar langsung oleh udara sehingga diperoleh isolat kapang yang lebih banyak dari sisi atas. Menurut Heinsohn dan Yang (2007: 36), spora kapang melayang di udara kemudian jatuh mengendap karena gravitasi. Selanjutnya spora akan menempel pada permukaan suatu benda.



Gambar 4.1(2). A menunjukkan sisi atas manuskrip  
[Sumber: Paolini 2006: 2.]

## 4.2 Enumerasi Kapang

Enumerasi kapang dilakukan pada medium PCA dengan penambahan *rose bengal* dan gliserol untuk mengetahui jumlah konidia dalam suspensi. *Rose bengal* ditambahkan untuk menghambat pertumbuhan kapang non xerofil. Gliserol ditambahkan untuk menurunkan nilai  $A_w$ . Setelah jumlah konidia dalam suspensi diketahui, dapat digunakan untuk persiapan inokulum sehingga mencegah terjadi perbedaan hasil yang disebabkan perbedaan jumlah sel dalam inokulum. Kisaran jumlah sel dalam inokulum disetarakan menjadi  $10^7$  sel/ml dari jumlah koloni rata-rata (Lampiran 3). Berdasarkan Kader dan Omar (1998: 3) jumlah sel kapang yang digunakan dalam penapisan aktivitas enzim selulolitik dari fungi adalah  $1 \times 10^7$  CFU/ml.

## 4.3 Penapisan Isolat Kapang dengan Substrat Kertas Eropa

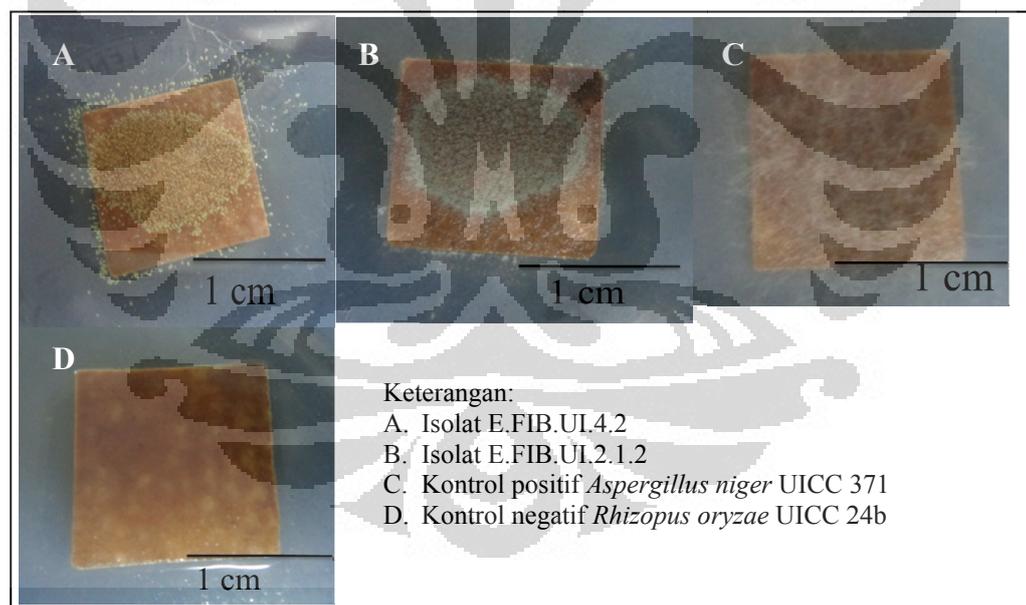
Penapisan isolat kapang pada potongan kertas Eropa termasuk ke dalam metode kualitatif yaitu dengan melihat ada atau tidaknya pertumbuhan hifa di atas kertas Eropa. Kertas Eropa yang digunakan adalah dokumen tua VOC dari tahun 1868 milik Perpustakaan Nasional Republik Indonesia dan memiliki *watermark* bertuliskan *WJ. Wymuller* (Gambar 4.3(1)).



Gambar 4.3(1). Kertas Eropa dokumen tua VOC dari tahun 1868 koleksi Perpustakaan Nasional Republik Indonesia  
[Sumber: Dokumentasi pribadi.]

Isolat-isolat kapang yang tumbuh pada *paper disc* dari kertas Eropa membuktikan kapang dapat hidup menggunakan kertas Eropa sebagai substratnya. Medium yang digunakan adalah basal CDA tanpa sumber karbon, sehingga sumber karbon hanya dari kertas Eropa. Oberkotter dan Rosenberg (1978: 205--209) menggunakan metode *paper disc* dengan kertas filter untuk penapisan bakteri selulolitik. *Cellvibrio vulgaris* berhasil tumbuh di atas kertas filter karena memanfaatkan kertas filter sebagai sumber karbon untuk pertumbuhannya.

Hasil penapisan isolat E.FIB.UI.4.2 dan E.FIB.UI.2.1.2 dengan substrat kertas Eropa menunjukkan pertumbuhan hifa di atas kertas pada ketiga pengulangan. Potongan kertas Eropa yang ditetaskan suspensi sel *Aspergillus niger* UICC 371 sebagai kontrol positif juga menunjukkan adanya pertumbuhan kapang di atas kertas Eropa. *Rhizopus oryzae* UICC 24b sebagai kontrol negatif tidak menunjukkan adanya pertumbuhan kapang. Hasil pengamatan dapat dilihat pada Gambar 4.3(2).



Gambar 4.3(2). Pengamatan isolat kapang tumbuh di atas kertas Eropa pada hari keempat pada suhu 27° C

[Sumber: Data pribadi.]

Hasil penapisan 11 isolat kapang pada kertas Eropa menunjukkan bahwa 9 isolat dapat tumbuh pada substrat kertas Eropa. Pertumbuhan kapang ditunjukkan

dengan adanya hifa di atas kertas Eropa. Hasil pengamatan dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Pengamatan pertumbuhan isolat-isolat kapang pada potongan kertas Eropa

Isolat uji	Mulai ada hifa	Mulai bersporulasi	Pertumbuhan (ulangan)		
			I	II	III
Manuskrip Serat Ngabdoel Moeloek					
E.FIB.UI.1.1.1	Hari ke-3	Tidak terlihat	+	+	+
E.FIB.UI.1.1.2	Hari ke-3	Hari ke-4	+	+	+
E.FIB.UI.1.2	Hari ke-4	Hari ke-5	+	+	+
Manuskrip Gramatica Dialect Pasaeraean					
E.FIB.UI.2.1.1	Hari ke-4	Hari ke-5	+	+	+
E.FIB.UI.2.1.2	Hari ke-2	Hari ke-3	+	+	+
E.FIB.UI.2.2	-	-	-	-	-
E.FIB.UI.2.8	Hari ke-5	Hari ke-6	+	+	+
Manuskrip Dialekt Remb (2) Remb (3) Moentil (4)					
E.FIB.UI.3.3	Hari ke-3	Tidak terlihat	+	+	+
Manuskrip Dialekt Pemalang (32) Tulung Agung (34) Semarang (35) Serang (36) Banjarmasin (36a) Yogyakarta (36b)					
E.FIB.UI.4.2	Hari ke-2	Hari ke-3	+	+	+
E.FIB.UI.4.3	-	-	-	-	-
Manuskrip Damil Margi Ridja					
E.FIB.UI.5.3	Hari ke-5	Hari ke-6	+	+	+
Kontrol					
Akuades steril (kontrol medium)	-	-	-	-	-
<i>Aspergillus niger</i> UICC 371 (kontrol positif)	Hari ke-3	Hari ke-4	+	+	+
<i>Rhizopus oryzae</i> UICC 24b (kontrol negatif)	-	-	-	-	-

Keterangan:

+ = ada pertumbuhan hifa;

- = tidak ada pertumbuhan hifa

Dua isolat kapang tidak dapat tumbuh pada kertas Eropa yang diindikasikan dengan tidak ada pertumbuhan hifa di atas kertas Eropa. Kedua isolat tersebut mengindikasikan kapang tersebut non selulolitik. Sembilan isolat menunjukkan hasil positif sehingga mengindikasikan kapang memiliki kemampuan selulolitik. Kapang hasil isolasi dari Manuskrip kertas Eropa secara umum mampu menggunakan kertas Eropa sebagai substrat bagi pertumbuhannya. Hasil penapisan dengan substrat kertas Eropa pada 11 isolat menunjukkan perbedaan kemampuan kapang dalam menggunakan substrat kertas Eropa. Perbedaan kemampuan kapang selulolitik dapat dilihat dari lamanya inkubasi hingga mulai adanya hifa. Isolat kapang E.FIB.UI.2.1.2 dan kapang E.FIB.UI.4.2 menunjukkan kapang lebih cepat tumbuh yaitu setelah diinkubasi pada hari kedua.

Kapang yang pertumbuhannya cepat mengindikasikan kapang tersebut dapat merusak manuskrip lebih cepat. Kapang yang tumbuh di kertas mengeluarkan enzim selulase untuk mendegradasi substrat selulosa. Senyawa selulosa yang telah diubah menjadi senyawa yang lebih sederhana kemudian diserap masuk ke dalam fungi untuk pertumbuhannya. Brock dkk. (2012: 601) melaporkan fungi mensekresikan enzim ekstraseluler untuk mengubah senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana. Yoon dkk. (2007: 21) melaporkan fungi sangat baik dalam mendegradasi senyawa polimer seperti selulosa. Menurut Arroyo (2009: 43), bahan dasar kertas Eropa yang utama adalah selulosa.

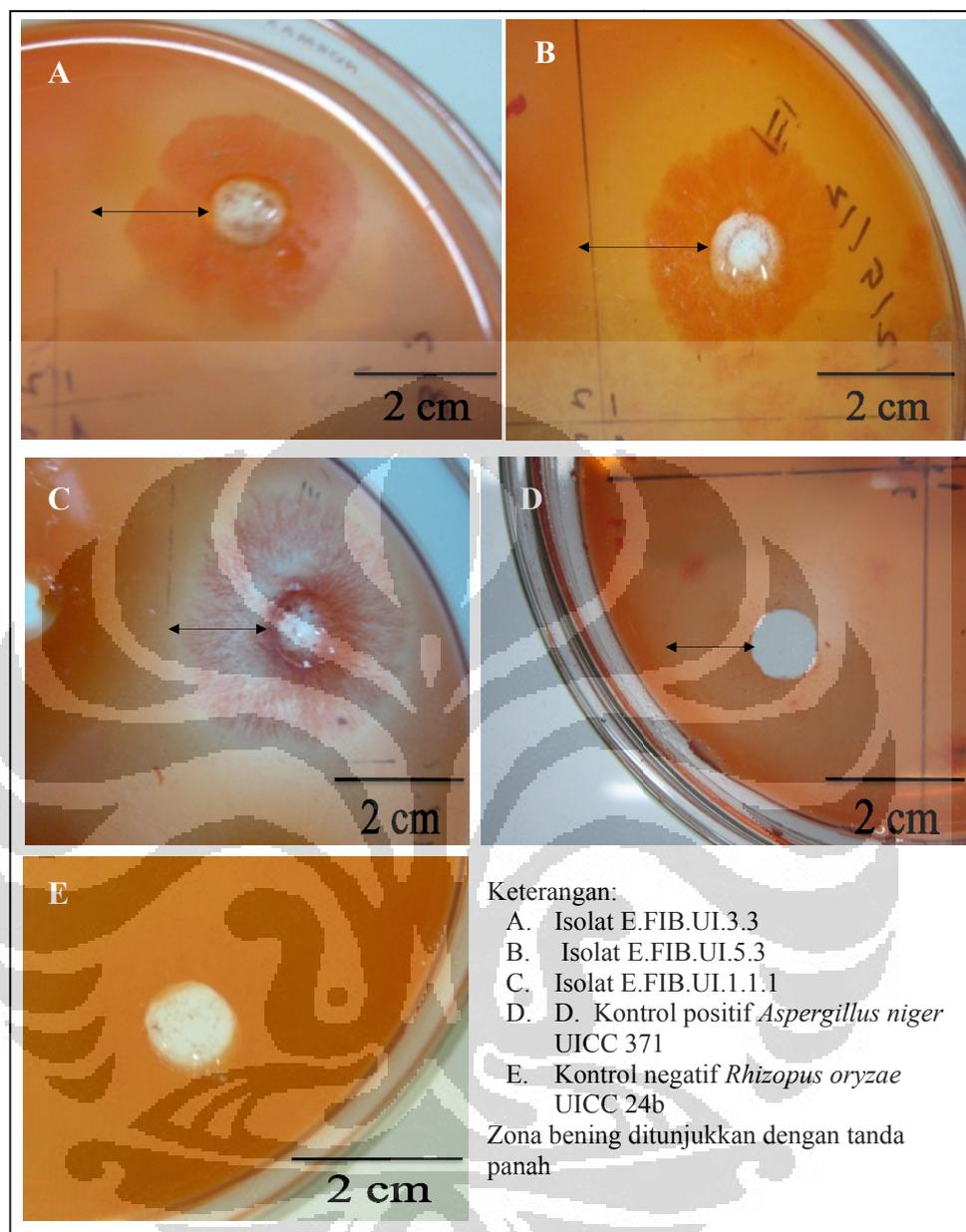
#### **4.4 Penapisan Isolat Kapang dengan Substrat *Carboxymethyl Cellulose* (CMC)**

Penapisan isolat kapang menggunakan medium CDA basal tanpa sumber karbon dengan penambahan substrat CMC untuk mendeteksi isolat kapang manuskrip yang menghasilkan endoglukanase. Penapisan pada 11 isolat kapang menghasilkan 8 isolat yang menghasilkan zona bening, sedangkan 3 isolat lainnya tidak menghasilkan zona bening di sekitar *well* (sumur). Zona bening yang terbentuk mengindikasikan isolat kapang mampu mendegradasi substrat CMC dan memiliki kemampuan menghasilkan endoglukanase.

Berdasarkan Teather dan Wood (1982: 778), metode sumur yang digunakan sangat efektif karena suspensi kapang yang dimasukkan ke dalam sumur tidak keluar menyebar ke sekitar sumur. Kapang selulolitik akan mengeluarkan enzim selulase untuk mendegradasi substrat selulosa. Gandjar dkk. (2006: 38) menyatakan fungi mensekresikan enzim ekstraseluler ke lingkungan untuk mengurai substrat yang kompleks dalam memperoleh nutrien-nutrien yang diperlukan. Deacon dkk. (2006: 5) menyatakan polimer kompleks yang telah didegradasi oleh enzim ekstraseluler kemudian diserap masuk ke dalam tubuh fungi.

Teather dan Wood (1982: 77--778) melaporkan untuk mendeteksi adanya endoglukanase, suspensi isolat uji diinokulasikan pada medium basal yang mengandung CMC sebagai substrat selulosa spesifik. Adanya endoglukanase ditunjukkan dengan terbentuknya zona bening setelah ditetaskan *Congo red*. Pewarna *Congo red* berikatan secara kuat dengan ikatan  $\beta$ -1,4-glikosida seperti selulosa. Zona bening yang terbentuk mengindikasikan ikatan  $\beta$ -1,4-glikosida telah terputus sehingga tidak dapat berikatan kembali dengan *Congo red*. Menurut Yoon dkk. (2007: 22--23), *Congo red* adalah indikator pH yang dapat digunakan untuk medium dengan substrat selulosa. Metabolisme fungi terhadap senyawa sederhana seperti glukosa menjadi asam organik menyebabkan terjadinya perubahan pH. Nilai pH menjadi turun disebabkan oleh asam organik yang dikeluarkan fungi pada bagian medium yang telah terdegradasi. *Congo red* memberi warna merah yang sangat jelas pada medium yang memiliki pH 7, sedangkan *Congo red* tidak memberi warna dengan baik pada medium yang memiliki pH lebih rendah dari 7.

Sumur yang ditetaskan suspensi sel *Aspergillus niger* UICC 371 sebagai kontrol positif juga menunjukkan adanya zona bening. Sumur yang diinokulasikan *Rhizopus oryzae* UICC 24b sebagai kontrol negatif tidak menunjukkan adanya zona bening. Hasil pengamatan dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4. Pengamatan isolat kapang uji dengan substrat CMC setelah ditetaskan *Congo red* pada hari ke-5 pada suhu 27° C [Sumber: Data pribadi.]

Hasil pengamatan penapisan dengan substrat CMC dan nilai IAS dapat dilihat pada Tabel 4.4. Sebelas isolat uji menunjukkan kemampuan yang berbeda-beda dalam menggunakan substrat CMC. Hal tersebut dapat dilihat dari ukuran zona bening yang berbeda-beda pada setiap isolat.

Tabel 4.4. Pengamatan isolat kapang berumur 5 hari dengan substrat CMC setelah ditetaskan *Congo red* pada suhu 27° C

Isolat	Pengulangan	Diameter koloni (mm)	Diameter <i>clear zone</i> (mm)	IAS	Standar deviasi
<b>Manuskrip Serat Ngabdoel Moeloek</b>					
E.FIB.UI.1.1.1	I	38,75	41,37	0,068	0,058 ± 0,017
	II	34,98	36,33	0,039	
	III	37,82	40,38	0,068	
E.FIB.UI.1.1.2	I	22,45	33,88	0,509	0,029 ± 0,187
	II	30,90	36,92	0,195	
	III	38,58	45,36	0,176	
E.FIB.UI.1.2	I	28,47	33,33	0,171	0,165 ± 0,068
	II	27,02	33,24	0,230	
	III	29,38	32,15	0,094	
<b>Manuskrip Gramatica Dialect Pasaeraean</b>					
E.FIB.UI.2.1.1	I	28,86	40,84	0,415	0,581 ± 0,202
	II	22,48	40,61	0,806	
	III	20,36	30,96	0,521	
E.FIB.UI.2.1.2	I	20,41	40,20	0,969	1,041 ± 0,135
	II	19,64	38,43	0,957	
	III	17,49	38,43	1,197	
E.FIB.UI.2.2	I	-	-	-	
	II	-	-	-	
	III	-	-	-	
E.FIB.UI.2.8	I	-	-	-	
	II	-	-	-	
	III	-	-	-	
<b>Manuskrip Dialekt Remb (2) Remb (3) Moentil (4)</b>					
E.FIB.UI.3.3	I	26,10	36,01	0,379	0,402 ± 0,1992
	II	24,24	29,62	0,222	
	III	22,76	36,51	0,604	
<b>Manuskrip Dialekt Pernalang (32) Tulung Agung (34) Semarang (35) Serang (36) Banjarmasin (36a) Yogyakarta (36b)</b>					
E.FIB.UI.4.2	I	20,08	40,06	0,995	1,012 ± 0,024
	II	19,24	39,04	1,029	
	III	-	-	-	
E.FIB.UI.4.3	I	-	-	-	
	II	-	-	-	
	III	-	-	-	
<b>Manuskrip Damil Margi Ridja</b>					
E.FIB.UI.5.3	I	29,22	39,70	0,357	0,243 ± 0,142
	II	22,70	29,26	0,289	
	III	22,56	24,45	0,084	

Isolat	Pengulangan	Diameter koloni (mm)	Diameter <i>clear zone</i> (mm)	IAS	Standar deviasi
<b>Kontrol</b>					
Akuades steril (kontrol medium)	I	-	-	-	
	II	-	-	-	
	III	-	-	-	
<i>Aspergillus niger</i> UICC 371 (kontrol positif)	I	28,72	38,33	0,335	0,369 ± 0,055
	II	29,30	39,27	0,340	
	III	27,22	38,98	0,432	
<i>Rhizopus oryzae</i> UICC 24b (kontrol negatif)	I	-	-	-	
	II	-	-	-	
	III	-	-	-	

Zona bening yang terlihat mengindikasikan substrat CMC sudah terdegradasi menjadi rantai yang lebih pendek dan ikatan  $\beta$ -1,4-glikosida pada CMC sudah terputus. Semakin besar diameter zona bening menandakan semakin banyak substrat CMC yang telah terdegradasi. Isolat kapang E.FIB.UI.2.1.2 dari Manuskrip Gramatica Dialect Pasaeraean memiliki nilai IAS rata-rata yang lebih besar dibanding isolat lainnya. Hal tersebut mengindikasikan kapang E.FIB.UI.2.1.2 menggunakan substrat CMC yang lebih banyak dibanding isolat lainnya.

Isolat kapang E.FIB.UI.1.1.1, kapang E.FIB.UI.2.1.2 kapang E.FIB.UI.3.3, dan kapang E.FIB.UI.4.2 menghasilkan zona bening yang terlihat lebih jelas dibandingkan zona bening yang dihasilkan kapang E.FIB.UI.1.1.2, kapang E.FIB.UI.1.2, kapang E.FIB.UI.2.1.1, dan kapang E.FIB.UI.5.3. Zona bening yang tidak terlihat jelas mengindikasikan rantai panjang CMC tidak terputus secara sempurna, sehingga masih ada ikatan  $\beta$ -1,4-glikosida yang dapat berikatan dengan *Congo red*. Teather dan Wood (1982: 77--778) menyatakan pewarna *Congo red* berikatan secara kuat dengan ikatan  $\beta$ -1,4-glikosida, sehingga dapat mendeteksi keberadaan substrat CMC.

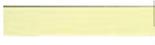
## 4.5 Identifikasi Kapang Manuskrip Kuno Kertas Eropa Asal Perpustakaan FIB UI

Isolat kapang yang diketahui memiliki kemampuan selulase diidentifikasi secara konvensional, yaitu melalui pengamatan makromorfologi dan mikromorfologi. Hasil identifikasi menunjukkan 4 isolat merupakan genus *Aspergillus*, 3 isolat merupakan genus *Penicillium*, dan 2 isolat merupakan *mycelia sterilia*. Genus *Aspergillus* dan *Penicillium* paling banyak ditemukan pada sebagian besar manuskrip kuno kertas Eropa yang ada di perpustakaan Shamsian dkk. (2006: 420) mengisolasi fungi dari 495 manuskrip di perpustakaan *Astan Quds*, Iran dan diperoleh 83 isolat fungi. Genus *Aspergillus* yang paling banyak diisolasi yaitu 34 isolat (41%) dan *Penicillium* yaitu 19 isolat (22,9%).

### 4.5.1 *Aspergillus* sp. E.FIB.UI.1.1.2, *Aspergillus* sp. E.FIB.UI.1.2, *Aspergillus* sp. E.FIB.UI.4.2, dan *Aspergillus* sp. E.FIB.UI.5.3

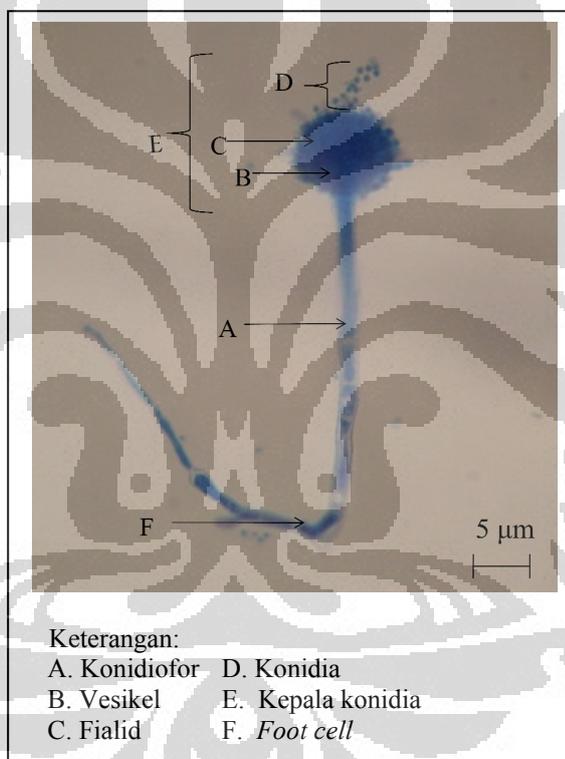
Identifikasi kapang E.FIB.UI.1.1.2, kapang E.FIB.UI.1.2, kapang E.FIB.UI.4.2, dan kapang E.FIB.UI.5.3 dilakukan pada umur 9 hari dalam medium CDA pada suhu ruang 27° C. Hasil pengamatan tidak memperlihatkan adanya alat reproduksi seksual, namun memperlihatkan adanya alat reproduksi aseksual berupa konidia. Keempat kapang tersebut merupakan kapang anamorfik. Keempat kapang tersebut tidak memiliki metula, sehingga tipe sterigmata adalah uniseriat karena fialid tumbuh langsung mengelilingi vesikel. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kapang E.FIB.UI.1.1.2, kapang E.FIB.UI.1.2, kapang E.FIB.UI.4.2, dan E.FIB.UI.5.3 termasuk genus *Aspergillus*. Deskripsi kapang-kapang tersebut sesuai dengan deskripsi kapang *Aspergillus* pada monograf *Introduction to food and airborne-fungi* oleh Samson dan Hoekstra (2004: 64). Hasil pengamatan morfologi kapang E.FIB.UI.1.1.2, kapang E.FIB.UI.1.2, kapang E.FIB.UI.4.2, dan kapang E.FIB.UI.5.3 dapat dilihat pada Tabel 4.5.1.

Tabel 4.5.1. Hasil pengamatan morfologi kapang *E.FIB.UI.1.1.2*, *E.FIB.UI.1.2*, *E.FIB.UI.4.2*, dan *E.FIB.UI.5.3* berumur 9 hari di medium CDA pada suhu 27° C

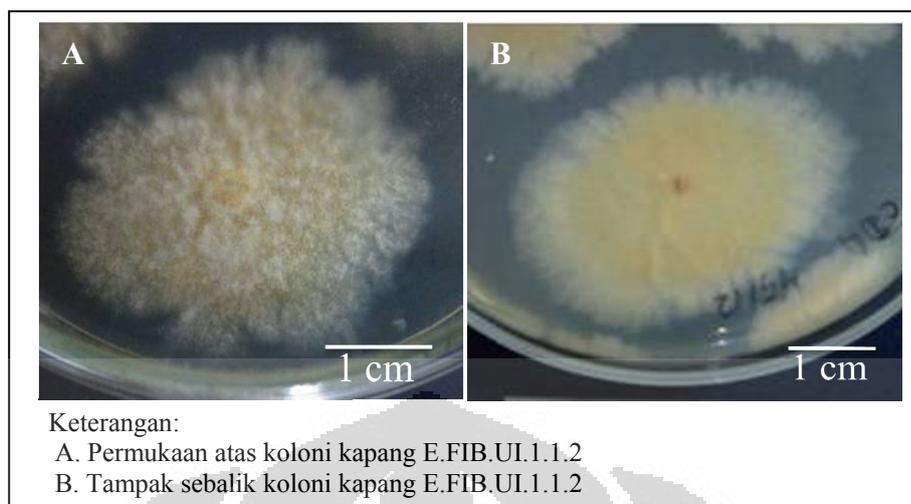
	<i>Aspergillus</i> sp. E.FIB.UI.1.1.2	<i>Aspergillus</i> sp. E.FIB.UI.1.2	<i>Aspergillus</i> sp. E.FIB.UI.4.2	<i>Aspergillus</i> sp. E.FIB.UI.5.3
<b>Karakter mikromorfologi</b>				
bentuk kepala konidia	radial	radial	kolumnar	radial
lebar kepala konidia	15,2--33,90µm	3,21--9,09µm	13,31--25,71µm	18,90--35,89µm
tipe sterigmata	uniseriat	uniseriat	uniseriat	uniseriat
bentuk vesikel	bulat	semibulat	semibulat	bulat
bentuk konidia	bulat	bulat	bulat	bulat
diameter konidia	0,67--2,34µm	0,34--1,93µm	0,43--1,98µm	0,99--3,01µm
lebar konidiofor	2,88--6,20µm	1,31--3,99µm	3,44--12,2 µm	6,02--19,99µm
sruktur hifa	berseptata	tidak berseptata	tidak berseptata	tidak berseptata
<b>Karakter makromorfologi</b>				
warna permukaan koloni	<i>ivory</i> 103 	hartal emas 183 	<i>chrome</i> terang 106 kehijauan  	<i>cream</i> 102 
tekstur	granular	granular	granular	granular
<i>exudate drops</i>	tidak ada	ada	tidak ada	tidak ada
zonasi	ada	tidak ada	ada	tidak ada
<i>radial furrow</i>	tidak ada	tidak ada	tidak ada	tidak ada
<i>growing zone</i>	ada	ada	ada	ada
warna sebalik koloni	<i>ivory</i> 103	hartal emas 183	hialin	hialin
zonasi sebalik koloni	tidak ada	ada	tidak ada	ada
<i>radial furrow</i> sebalik koloni	ada	tidak ada	tidak ada	tidak ada

*Aspergillus* sp. E.FIB.UI.1.1.2 memiliki kepala konidia berbentuk radial dan fialid tumbuh pada seluruh bagian vesikel (*full fertile*), konidiofor berseptata,

terlihat adanya *foot cell* (Gambar 4.5.1(1)). Pengamatan makromorfologi *Aspergillus* sp. E.FIB.UI.1.1.2 pada medium CDA berumur 9 hari pada suhu 27° C yaitu koloni kapang telah bersporulasi, memiliki warna koloni *ivory* 103 pada standar warna (Lampiran 2) dengan tekstur granular, memiliki zonasi, *growing zone*, namun tidak memiliki *radial furrow* dan *exudate drops*. Pengamatan sebalik koloni juga memperlihatkan warna koloni *ivory* 103, tidak memiliki zonasi, namun memiliki *radial furrow*. *Aspergillus* sp. E.FIB.UI.1.1.2 termasuk ke dalam *Aspergillus ochraceus-group*. Hasil pengamatan koloni *Aspergillus* sp. E.FIB.UI.1.1.2 dapat dilihat pada Gambar 4.5.1(2).



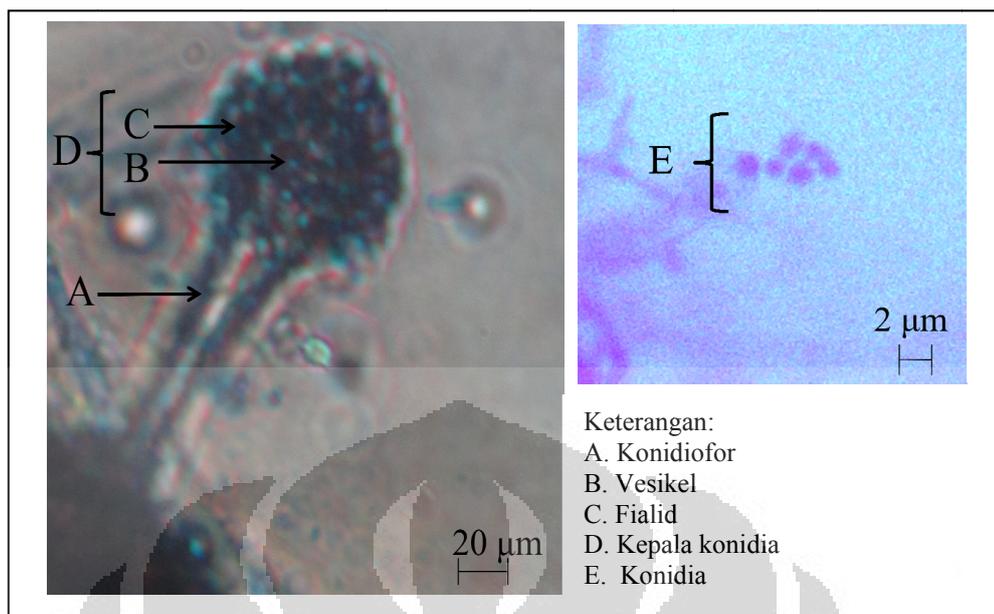
Gambar 4.5.1(1). Mikromorfologi *Aspergillus* sp. E.FIB.UI.1.1.2 berumur 9 hari di medium CDA pada suhu 27° C [Sumber: Dokumentasi pribadi.]



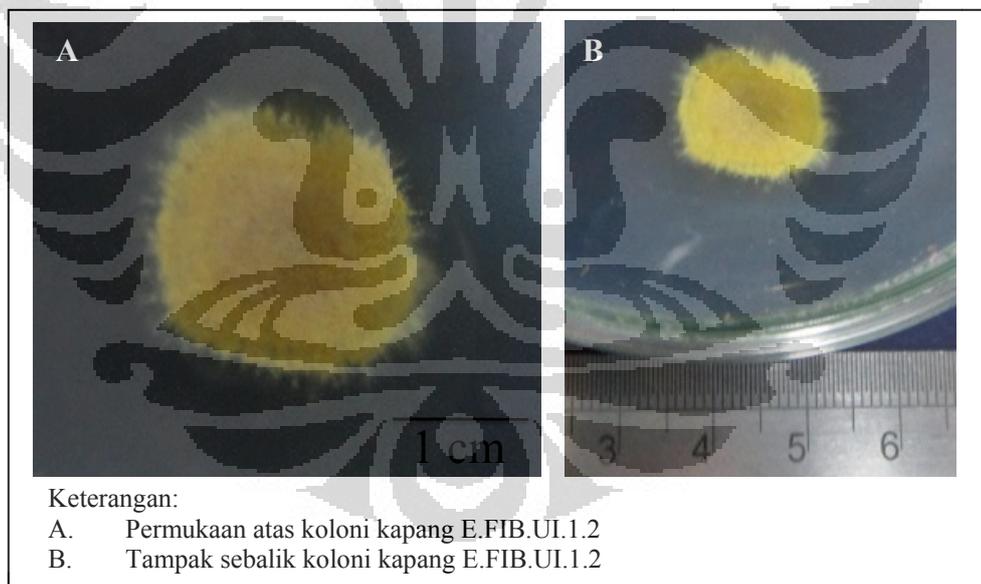
Gambar 4.5.1(2). Koloni *Aspergillus* sp. E.FIB.UI.1.1.2 berumur 9 hari di medium CDA pada suhu 27° C

[Sumber: Dokumentasi pribadi.]

*Aspergillus* sp. E.FIB.UI.1.2 memiliki kepala konidia berbentuk radial dan fialid tumbuh pada sebagian vesikel (3/4 *fertile*) (Gambar 4.5.1(3)). Pengamatan makromorfologi *Aspergillus* sp. E.FIB.UI.1.2 pada medium CDA berumur 9 hari pada suhu 27° C yaitu koloni kapang telah bersporulasi, memiliki warna koloni hartal emas 183 pada standar warna (Lampiran 2) dengan tekstur granular, tidak memiliki zonasi dan *radial furrow*, namun memiliki *growing zone* dan *exudate drops*. Pengamatan sebalik koloni juga memperlihatkan warna hartal emas, memiliki zonasi, namun tidak memiliki *radial furrow*. *Aspergillus* sp. E.FIB.UI.1.2 termasuk ke dalam *Aspergillus oryzae-group*. Hasil pengamatan koloni *Aspergillus* sp. E.FIB.UI.1.2 dapat dilihat pada Gambar 4.5.1(4).



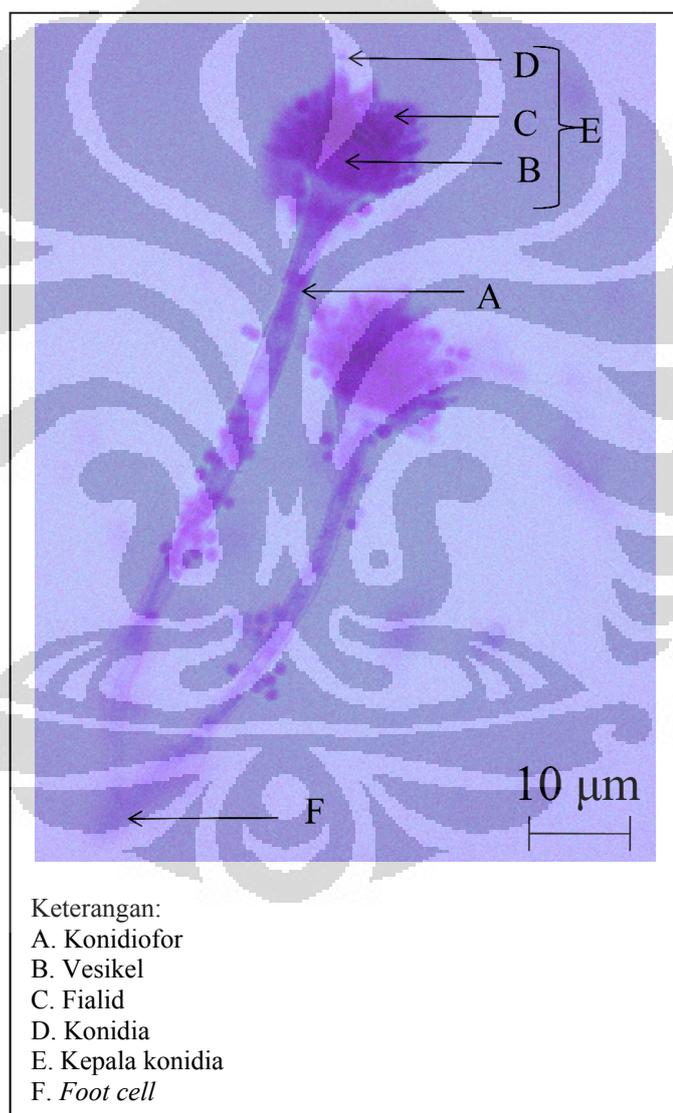
Gambar 4.5.1(3). Mikromorfologi *Aspergillus* sp. E.FIB.UI.1.2 berumur 9 hari di medium CDA pada suhu 27° C  
 [Sumber: Dokumentasi pribadi.]



Gambar 4.5.1(4). Koloni *Aspergillus* sp. E.FIB.UI.1.2 berumur 9 hari di medium CDA pada suhu 27° C  
 [Sumber: Dokumentasi pribadi.]

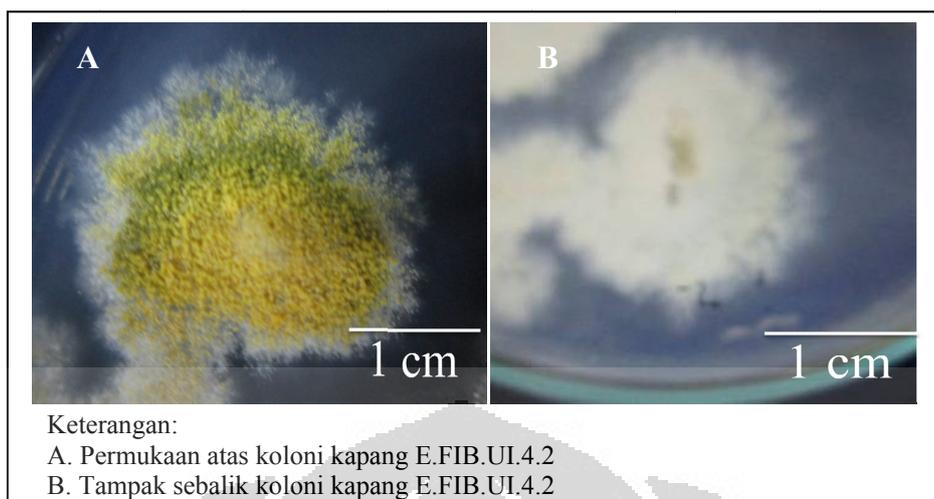
*Aspergillus* sp. E.FIB.UI.4.2 memiliki kepala konidia berbentuk kolumnar dan fialid tumbuh pada sebagian vesikel (3/4 fertile) dan terlihat *foot cell* (Gambar 4.5.1(5)). Pengamatan makromorfologi *Aspergillus* sp. E.FIB.UI.4.2 pada

medium CDA berumur 9 hari pada suhu 27° C yaitu koloni kapang telah bersporulasi, memiliki warna koloni *chrome* terang 106 pada standar warna (Lampiran 2) dan ada sedikit warna hijau. Koloni memiliki tekstur granular, memiliki zonasi dan *growing zone*, namun tidak memiliki *radial furrow* dan *exudate drops*. Pengamatan sebalik koloni tidak memperlihatkan warna (hialin), tidak memiliki zonasi dan *radial furrow*. *Aspergillus* sp. E.FIB.UI.4.2 termasuk ke dalam *Aspergillus fumigatus-group*. Hasil pengamatan koloni *Aspergillus* sp. E.FIB.UI.4.2 dapat dilihat pada Gambar 4.5.1(6).



Gambar 4.5.1(5). Morfologi *Aspergillus* sp. E.FIB.UI.4.2 berumur 9 hari di medium CDA pada suhu 27° C

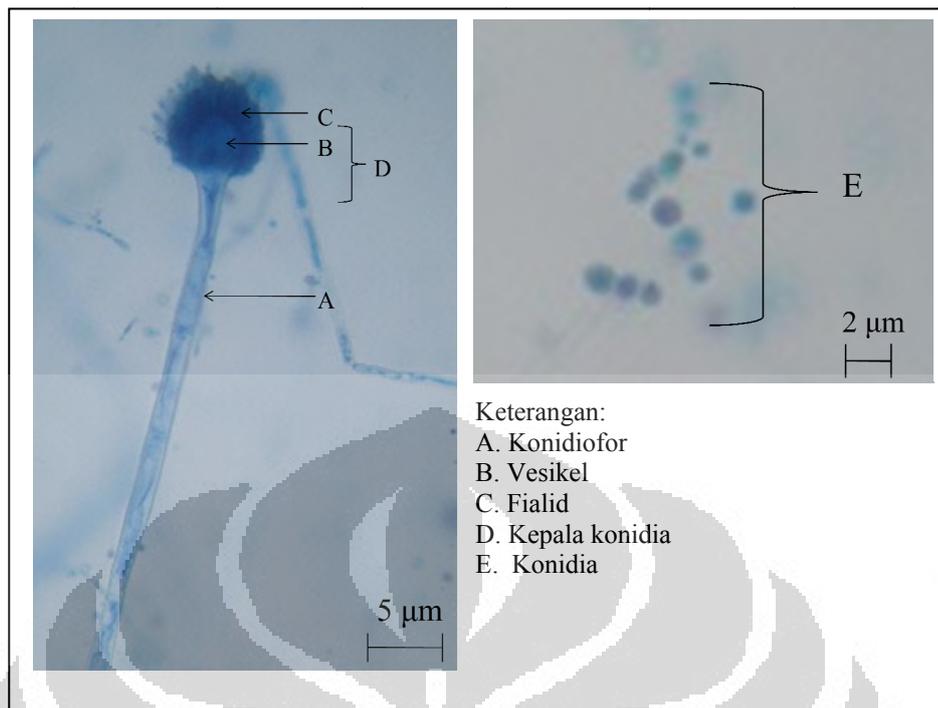
[Sumber: Dokumentasi pribadi.]



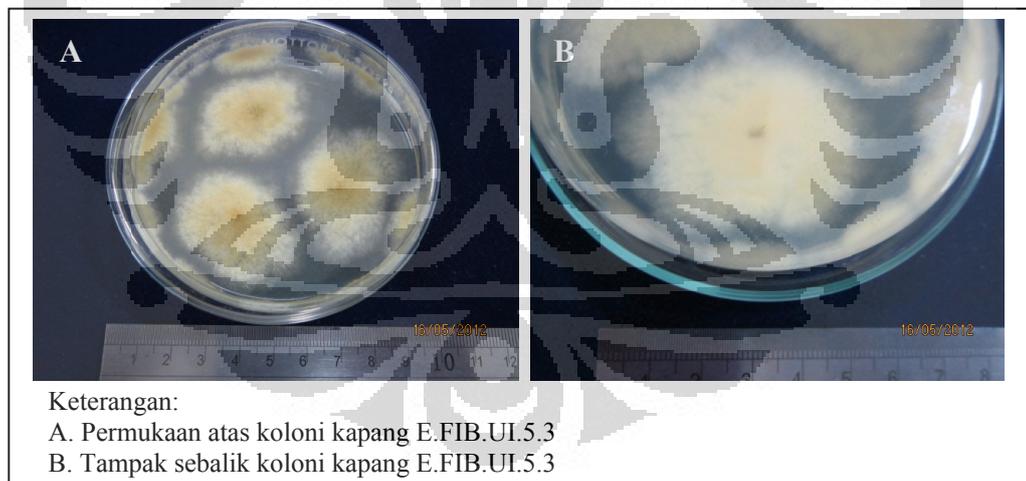
Gambar 4.5.1(6). Koloni *Aspergillus* sp. E.FIB.UI.4.2 berumur 7 hari di medium CDA pada suhu 27° C

[Sumber: Dokumentasi pribadi.]

*Aspergillus* sp. E.FIB.UI.5.2 memiliki kepala konidia berbentuk radial dan filid tumbuh pada sebagian vesikel ( $3/4$  fertile) (Gambar 4.5.1(7)). Pengamatan makromorfologi *Aspergillus* sp. E.FIB.UI.5.3 pada medium CDA berumur 9 hari pada suhu 27° C yaitu koloni kapang telah bersporulasi, memiliki warna koloni cream 102 pada standar warna (Lampiran 2) dengan tekstur granular, memiliki *growing zone*, namun tidak memiliki zonasi, *radial furrow*, dan *exudate drops*. Pengamatan sebalik koloni tidak memperlihatkan warna (hialin), tidak memiliki *radial furrow*, namun memiliki zonasi. *Aspergillus* sp. E.FIB.UI.5.2 termasuk ke dalam *Aspergillus flavus-group*. Hasil pengamatan koloni *Aspergillus* sp. E.FIB.UI.4.2 dapat dilihat pada Gambar 4.5.1(8).



Gambar 4.5.1(7). Mikromorfologi *Aspergillus* sp. E.FIB.UI.5.3 berumur 8 hari di medium CDA pada suhu 27° C  
 [Sumber: Dokumentasi pribadi.]



Gambar 4.5.1(8). Koloni *Aspergillus* sp. E.FIB.UI.5.3 berumur 9 hari di medium CDA pada suhu 27° C  
 [Sumber: Dokumentasi pribadi.]

Menurut Samson dan Hoekstra (2004: 64), konidiofor *Aspergillus* tidak bercabang dan memiliki ujung membulat yang disebut vesikel. Hifa *Aspergillus* umumnya tidak bersepta. Tipe sterigmata disebut uniseriat jika fialid tumbuh

langsung pada vesikel dan disebut biserial jika fialid tumbuh pada metula yang menempel pada vesikel. Vesikel, fialid, metula, dan konidia membentuk kepala konidia. Tipe kepala konidia adalah radial, yaitu jika kepala konidia terdiri dari konidia-konidia yang mengelilingi sebagian atau seluruh vesikel. Tipe kepala konidia adalah kolumnar, yaitu jika kepala konidia terdiri dari konidia-konidia yang membentuk kolom yang kompak.

Jumlah kapang *Aspergillus* paling banyak ditemukan pada manuskrip kertas Eropa. Berdasarkan karakter mikromorfologi, ukuran konidia rata-rata *Aspergillus* lebih besar dibandingkan konidia *Penicillium*. Hal tersebut memungkinkan konidia *Aspergillus* lebih mudah menempel pada kapas ketika melakukan *swab*, selain itu juga konidia akan jatuh lebih banyak di permukaan kertas karena terbawa oleh udara. *Aspergillus* merupakan kapang yang pertumbuhannya *fast grower* sehingga lebih cepat dibandingkan *Penicillium*. Michaelsen dkk. (2009: 165) melaporkan beberapa kapang dari genus *Aspergillus* yang ditemukan pada Manuskrip Le Stanze del Bandello di Italia dari abad ke-16 adalah *Aspergillus nidulans* dan *Aspergillus versicolor*. Jumlah isolat yang berhasil diisolasi dari manuskrip tersebut yaitu 26 isolat dan yang paling banyak merupakan genus *Aspergillus* yaitu 9 isolat.

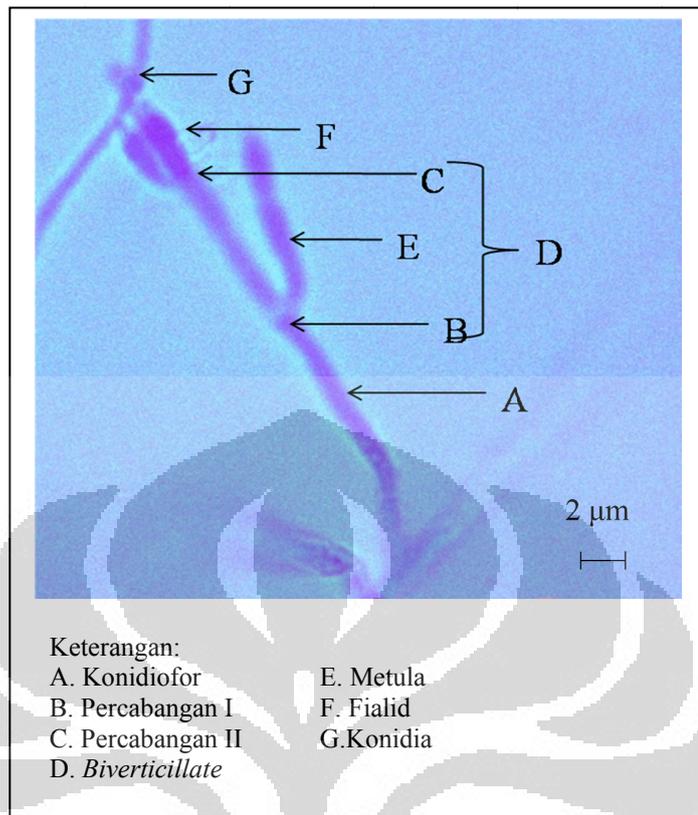
#### 4.5.2 *Penicillium* sp. E.FIB.UI.2.1.1, *Penicillium* sp. E.FIB.UI.2.1.2, dan *Penicillium* sp. E.FIB.UI.2.8

Identifikasi kapang E.FIB.UI.2.1.1, kapang E.FIB.UI.2.1.2, dan kapang E.FIB.UI.2.8 dilakukan pada umur 9 hari dalam medium CDA pada suhu 27° C. Pengamatan tidak memperlihatkan adanya alat reproduksi seksual, namun memperlihatkan adanya alat reproduksi aseksual berupa konidia. Ketiga kapang tersebut merupakan kapang anamorfik. Kapang memiliki percabangan yang berbeda-beda. Deskripsi kapang E.FIB.UI.2.1.1, kapang E.FIB.UI.2.1.2, dan kapang E.FIB.UI.2.8 sesuai dengan deskripsi *Penicillium* pada monograf *Introduction to Food and Airborne Fungi* oleh Samson dan Hoekstra (2004: 174). Hasil pengamatan morfologi kapang E.FIB.UI.2.1.1, kapang E.FIB.UI.2.1.2, dan kapang E.FIB.UI.2.8 dapat dilihat pada Tabel 4.5.2.

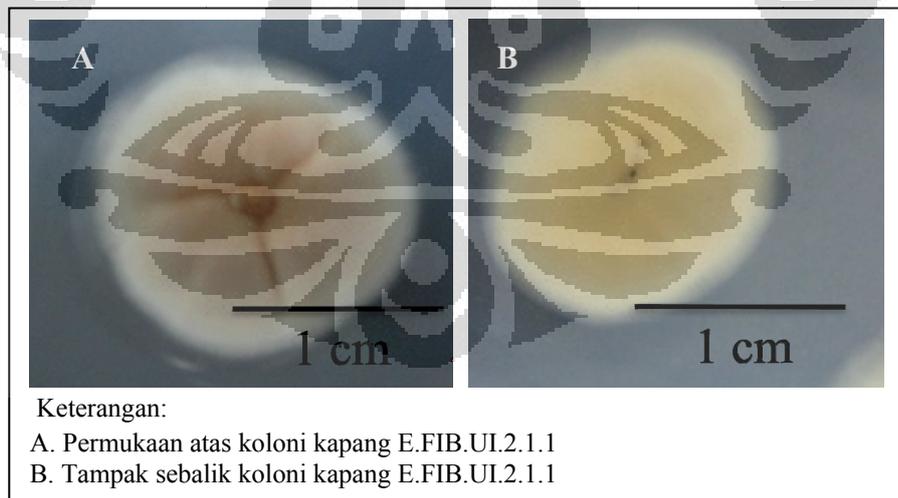
Tabel 4.5.2. Hasil pengamatan morfologi kapang E.FIB.UI.2.1.1, kapang E.FIB.UI.2.1.2, dan kapang E.FIB.UI.2.8 berumur 9 hari di medium CDA pada suhu 27° C

Karakter	<i>Penicillium</i> sp. E.FIB.UI.2.1.1	<i>Penicillium</i> sp. E.FIB.UI.2.1.2	<i>Penicillium</i> sp. E.FIB.UI.2.8
<b>Karakter mikromorfologi</b>			
bentuk konidia	bulat	bulat	bulat
diameter konidia	0,38--1,89µm	0,22--1,56µm	0,44--2,80µm
lebar konidiofor	0,93--1,77µm.	0,73--167µm.	0,87--2,97µm.
Percabangan	<i>biverticillate</i>	<i>biverticillate</i>	<i>terverticillate</i>
<b>Karakter makromorfologi</b>			
warna permukaan koloni	<i>cream 102</i> 	hijau keabu-abuan 	<i>cream 102</i> 
tekstur	<i>velvety</i>	<i>velvety</i>	<i>velvety</i>
<i>exudate drops</i>	ada	tidak ada	ada
zonasi	ada	tidak ada	ada
<i>radial furrow</i>	ada	tidak ada	ada
<i>growing zone</i>	ada	ada	ada
warna sebalik koloni	hialin	hialin	hialin
zonasi sebalik koloni	ada	tidak ada	ada
<i>radial furrow</i> sebalik koloni	ada	tidak ada	ada

*Penicillium* sp. E.FIB.UI.2.1.1 berumur 9 hari pada medium CDA pada suhu 27° C memiliki tipe percabangan *biverticillate* karena memiliki 2 percabangan, memiliki metula, serta *conidiogenous cell* berupa fialid (Gambar 4.5.2(1)). Pengamatan makromorfologi *Penicillium* sp. E.FIB.UI.2.1.1 pada medium CDA berumur 9 hari pada suhu 27° C yaitu koloni kapang telah bersporulasi, memiliki warna koloni *cream 102* pada standar warna (Lampiran 2) dengan tekstur *velvety*, memiliki *growing zone*, zonasi, *radial furrow*, dan *exudate drops*. Pengamatan sebalik koloni tidak memperlihatkan warna (hialin), memiliki zonasi dan *radial furrow*. Hasil pengamatan koloni *Penicillium* sp. E.FIB.UI.2.1.1 dapat dilihat pada Gambar 4.5.2(2).

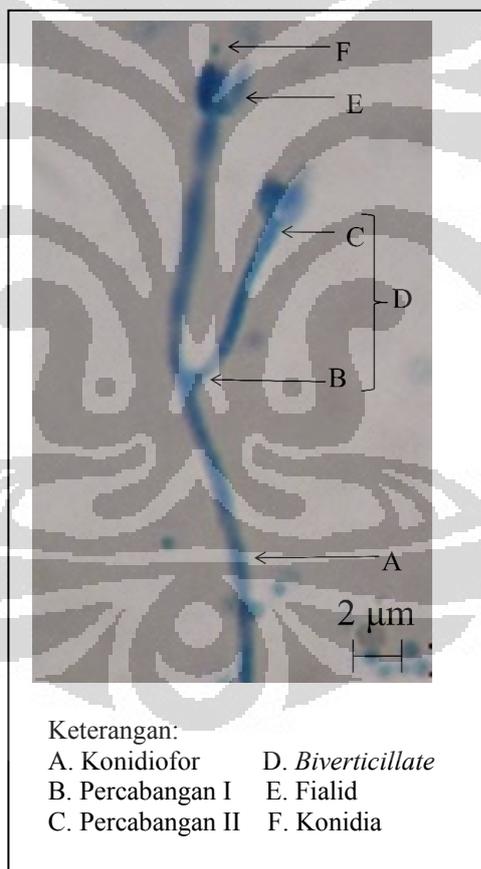


Gambar 4.5.2(1). Mikromorfologi kapang E.FIB.UI.2.1.1 berumur 9 hari di medium CDA pada suhu 27° C  
[Sumber: Dokumentasi pribadi.]



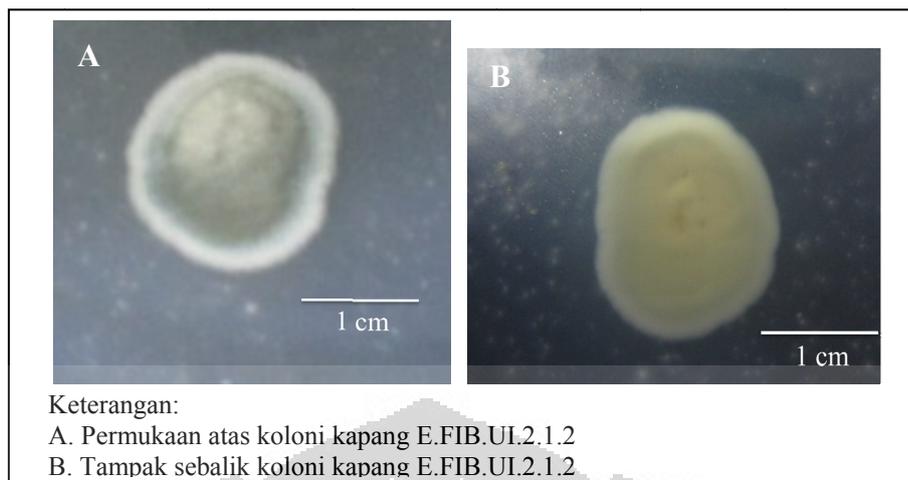
Gambar 4.5.2(2). Koloni *Penicillium* sp. E.FIB.UI.2.1.1 berumur 9 hari di medium CDA pada suhu 27° C  
[Sumber: Dokumentasi pribadi.]

*Penicillium* sp. E.FIB.UI.2.1.2 berumur 9 hari pada medium CDA pada suhu 27° C memiliki tipe percabangan *biverticillate* karena memiliki 2 percabangan, tidak memiliki metula, namun memiliki *conidiogenous cell* berupa fialid (Gambar 4.5.2(3)). Pengamatan makromorfologi *Penicillium* sp. E.FIB.UI.2.1.2 pada medium CDA berumur 9 hari pada suhu 27° C yaitu koloni kapang telah bersporulasi, memiliki warna koloni hijau keabu-abuan 172 pada standar warna (Lampiran 2) dengan tekstur *velvety*, memiliki *growing zone*, namun tidak memiliki zonasi, *radial furrow*, dan *exudate drops*. Pengamatan sebalik koloni tidak memperlihatkan warna (hialin), tidak memiliki zonasi dan *radial furrow*. Hasil pengamatan koloni *Penicillium* sp. E.FIB.UI.2.1.2 dapat dilihat pada Gambar 4.5.2(4).



Gambar 4.5.2(3). Mikromorfologi *Penicillium* sp. E.FIB.UI.2.1.2 berumur 9 hari di medium CDA pada suhu 27° C

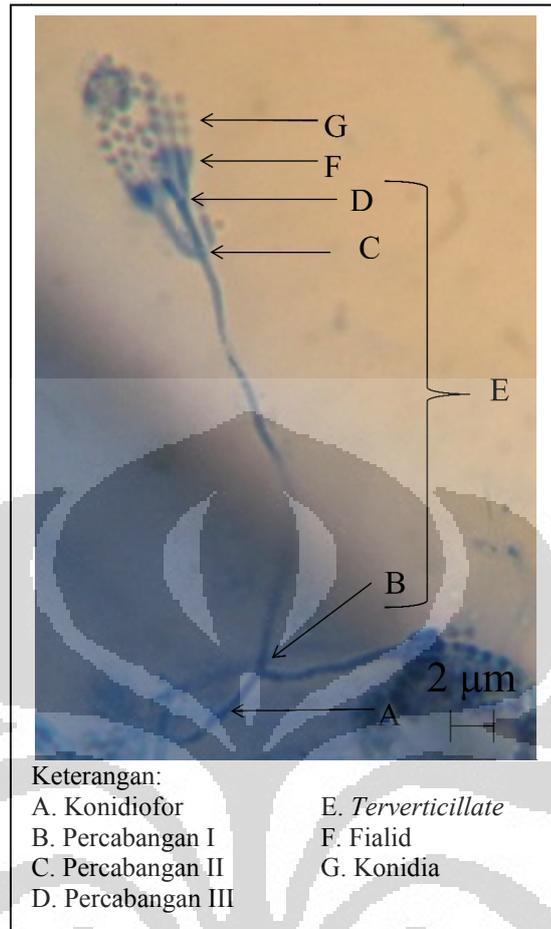
[Sumber: Dokumentasi pribadi.]



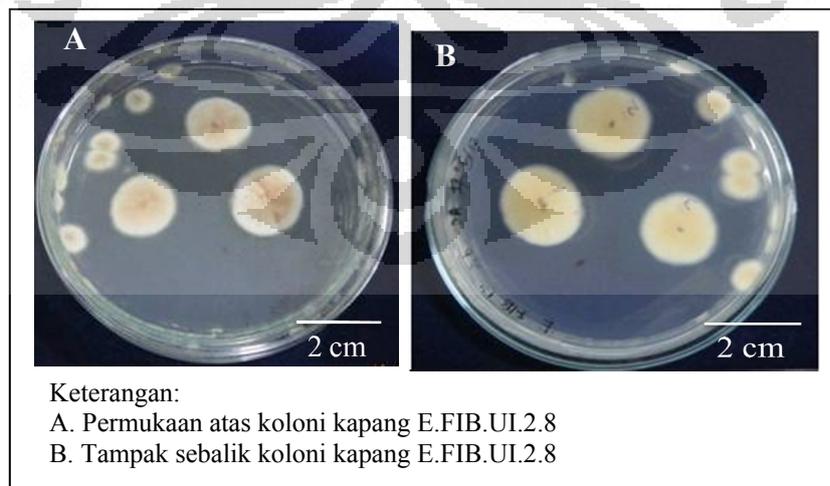
Gambar 4.5.2(4). Koloni E.FIB.UI.2.1.2 berumur 9 hari di medium CDA pada suhu 27° C

[Sumber: Dokumentasi pribadi.]

*Penicillium* sp. E.FIB.UI.2.8 berumur 9 hari pada medium CDA di suhu 27° C, memiliki tipe percabangan *terverticillate* karena memiliki 3 percabangan, tidak memiliki metula, namun memiliki *conidiogenous cell* berupa fialid (Gambar 4.5.2(5)). Pengamatan makromorfologi *Penicillium* sp. E.FIB.UI.2.8 pada medium CDA berumur 9 hari pada suhu 27° C yaitu koloni kapang telah bersporulasi, memiliki warna koloni *cream* 102 pada standar warna (Lampiran 2) dengan tekstur *velvety*, memiliki *growing zone*, zonasi, *radial furrow*, dan *exudate drops*. Pengamatan sebalik koloni tidak memperlihatkan warna (hialin), memiliki zonasi dan *radial furrow*. Hasil pengamatan koloni *Penicillium* sp. E.FIB.UI.2.8 dapat dilihat pada Gambar 4.5.2(6).



Gambar 4.5.2(5). Mikromorfologi *Penicillium* sp. E.FIB.UI.2.8 berumur 9 hari di medium CDA pada suhu 27° C  
[Sumber: Dokumentasi pribadi.]



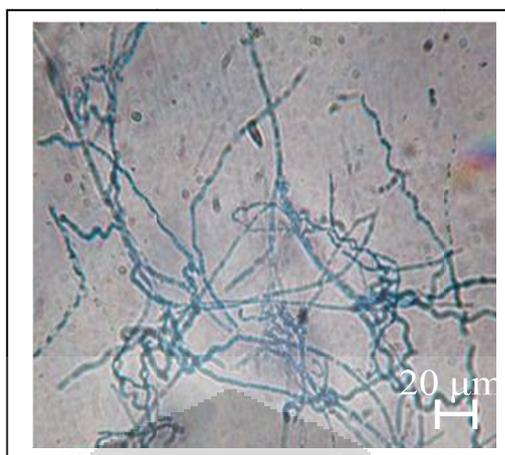
Gambar 4.5.2(6). Koloni *Penicillium* sp. E.FIB.UI.2.8 berumur 9 hari di medium CDA pada suhu 27° C  
[Sumber: Dokumentasi pribadi.]

Menurut Samson dan Hoekstra (2004: 174), konidia *Penicillium* dapat berbentuk bulat, elipsoid, silindris, atau fusiform, berwarna hialin atau kehijauan. *Penicillium* memiliki tipe percabangan antara lain: *monoverticillate* atau tidak memiliki percabangan, *biverticillate* atau memiliki satu percabangan, *terverticillate* atau memiliki dua percabangan, dan *quarterverticillate* atau memiliki tiga percabangan. Valentine (2010: 4) menemukan kapang-kapang dari genus *Penicillium* yang tumbuh pada manuskrip kertas Eropa di Spanyol. Michaelsen dkk. (2009: 165) melaporkan kapang spesies *Penicillium pinophilum* ditemukan pada Manuskrip Le Stanze del Bandello di Italia dari abad ke-16. Empat isolat dari 26 isolat yang berhasil diisolasi dari manuskrip tersebut merupakan genus *Penicillium*.

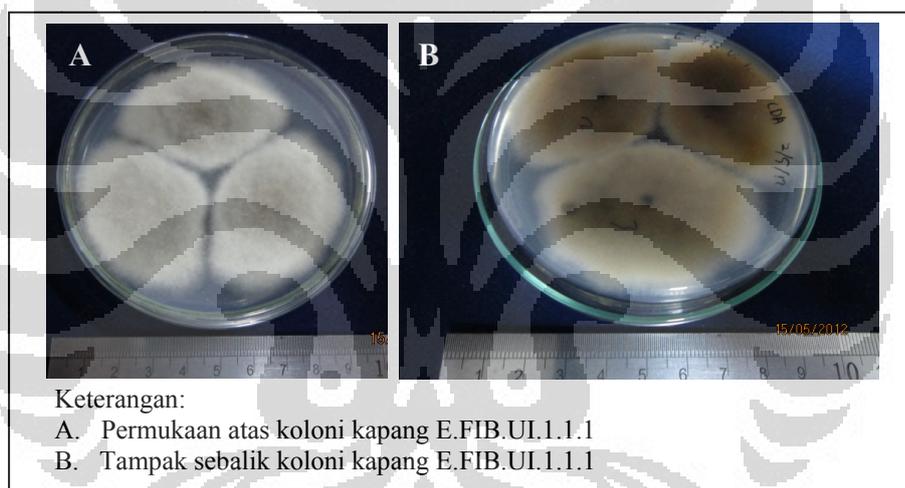
#### 4.5.3 *Mycelia Sterilia* E.FIB.UI.1.1.1 dan *Mycelia Sterilia* E.FIB.UI.3.3

Pengamatan mikromorfologi kapang E.FIB.UI.1.1.1 dan kapang E.FIB.UI.3.3 berumur 9 pada medium CDA pada suhu 27° C. Hasil pengamatan menunjukkan tidak ditemukan alat reproduksi seksual maupun aseksual, namun hanya ditemukan struktur hifa. Hal tersebut menyatakan bahwa kapang E.FIB.UI.1.1.1 dan kapang E.FIB.UI.3.3 adalah *mycelia sterilia*. Deskripsi kapang E.FIB.UI.1.1.1 dan kapang E.FIB.UI.3.3 sesuai dengan monograf *Illustrated genera of imperfect fungi* oleh Barnett dan Hunter (2003: 34). Menurut Sugiyama (1987: 278), *mycelia sterilia* adalah fungi yang tidak memiliki alat reproduksi seksual dan tidak menghasilkan konidia.

Pengamatan makromorfologi *mycelia sterilia* E.FIB.UI.1.1.1 menunjukkan bahwa koloni berwarna *warm grey* II 271 pada standar warna (Lampiran 2) dan tekstur permukaan *wooly*. Kapang tersebut belum bersporulasi, tidak memiliki zonasi, *growing zone*, *radial furrow*, dan *exudate drops*. Pengamatan sebaliknya koloni memperlihatkan warna koloni *warm grey* IV 273 pada standar warna (Lampiran 2), tidak memiliki zonasi dan *radial furrow*. Hasil pengamatan morfologi *mycelia sterilia* E.FIB.UI.1.1.1 dapat dilihat pada Gambar 4.5.3(1) dan Gambar 4.5.3(2).

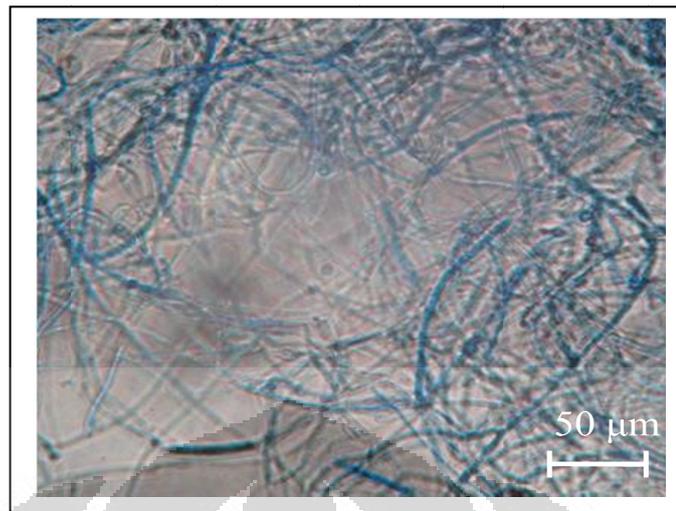


Gambar 4.5.3(1). Mikromorfologi kapang E.FIB.UI.1.1.1 berumur 8 hari di medium CDA pada suhu 27° C  
[Sumber: Dokumentasi pribadi.]

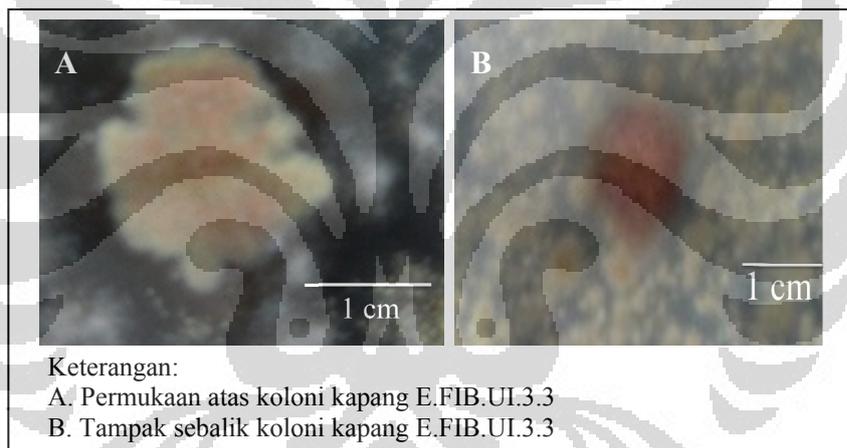


Gambar 4.5.3(2). Koloni kapang E.FIB.UI.1.1.1 berumur 8 hari di medium CDA pada suhu 27° C  
[Sumber: Dokumentasi pribadi.]

Pengamatan makromorfologi *mycelia sterilia* E.FIB.UI.3.3 menunjukkan bahwa koloni berwarna cokelat hartal 182 pada standar warna (Lampiran 2) dan tekstur permukaan *wooly*. Kapang tersebut belum bersporulasi, tidak memiliki zonasi, *growing zone*, *radial furrow*, dan *exudate drops*. Pengamatan sebalik koloni memperlihatkan warna *raw umber* 180 pada standar warna (Lampiran 2), tidak memiliki zonasi namun dan *radial furrow*. Hasil pengamatan morfologi *mycelia sterilia* E.FIB.UI.3.3 dapat dilihat pada Gambar 4.5.3(3) dan Gambar 4.5.3(4).



Gambar 4.5.3(3). Mikromorfologi kapang E.FIB.UI.3.3 berumur 9 hari di medium CDA pada suhu 27° C  
[Sumber: Dokumentasi pribadi.]



Keterangan:

- A. Permukaan atas koloni kapang E.FIB.UI.3.3
- B. Tampak sebalik koloni kapang E.FIB.UI.3.3

Gambar 4.5.3(4). Koloni E.FIB.UI.2.1.2 berumur 9 hari di medium CDA pada suhu 27° C  
[Sumber: Dokumentasi pribadi.]

Isolasi, pemurnian, hingga identifikasi kapang kapang dari manuskrip kuno kertas Eropa asal Perpustakaan FIB UI telah berhasil dilakukan. Isolasi dan pemurnian pada medium DG 18 *Agar* diperoleh 11 isolat kapang yang bersifat xerofilik. Isolat kapang paling banyak berhasil diisolasi berasal dari Manuskrip Gramatica Dialect Pasaeraean dengan kondisi buruk yaitu 4 isolat. Penapisan menggunakan substrat kertas Eropa menghasilkan 9 isolat yang mampu tumbuh pada kertas Eropa. Penapisan isolat-isolat tersebut pada CMC menghasilkan 8 isolat yang dapat menggunakan CMC sebagai substrat dan mengindikasikan dapat

menghasilkan endoglukanase. Identifikasi terhadap kapang-kapang tersebut telah berhasil dilakukan dan kapang-kapang tersebut adalah *Aspergillus* E.FIB.UI.1.1.2, *Aspergillus* E.FIB.UI.1.2, *Aspergillus* E.FIB.UI.4.2, *Aspergillus* E.FIB.UI.5.3, *Penicillium* E.FIB.UI.2.1.1, *Penicillium* E.FIB.UI.2.1.2, *Penicillium* E.FIB.UI.2.8, *Mycelia sterilia* E.FIB.UI.1.1.1, dan *Mycelia sterilia* E.FIB.UI.3.3.

Kapang yang mampu tumbuh pada kertas Eropa pada umumnya juga mampu membentuk zona bening dan sebaliknya. Kapang yang mampu tumbuh pada kertas Eropa tetapi tidak menghasilkan zona bening pada medium mengindikasikan kapang mengeluarkan enzim selulosa lainnya seperti eksoglukanase atau  $\beta$ -glukosidase dalam menggunakan substrat kertas Eropa. Sembilan isolat kapang tersebut diduga sebagai penyebab kerusakan pada manuskrip kuno kertas Eropa asal Perpustakaan FIB UI.

*Aspergillus* E.FIB.UI.4.2 dan *Penicillium* E.FIB.UI.2.1.2 memiliki kemampuan tumbuh pada substrat kertas Eropa yang lebih cepat yaitu pada hari kedua dan mulai bersporulasi pada hari ketiga. Hasil penapisan menggunakan substrat CMC juga menunjukkan nilai IAS *Aspergillus* E.FIB.UI.4.2 dan *Penicillium* E.FIB.UI.2.1.2 lebih besar dibandingkan isolat lainnya. *Aspergillus* E.FIB.UI.4.2 memiliki nilai IAS rata-rata 1,012 dan *Penicillium* E.FIB.UI.2.1.2 memiliki nilai IAS rata-rata 1,041. Hal tersebut mengindikasikan kedua kapang tersebut berpotensi merusak manuskrip kertas Eropa lebih cepat. Diameter koloni rata-rata *Aspergillus* E.FIB.UI.4.2 pada medium DG 18 *Agar* dengan penambahan *rose bengal* hingga hari keenam berkisar 34,78--35,45 mm (Lampiran 4), sedangkan pada medium CDA hingga hari keenam berkisar 23,98--30,30 mm (Lampiran 5). Diameter koloni rata-rata *Penicillium* E.FIB.UI.2.1.2 pada medium DG 18 *Agar* dengan penambahan *rose bengal* hingga hari keenam berkisar 13,75-14,78 mm (Lampiran 4), sedangkan pada medium CDA hingga hari keenam berkisar 17,11--22,35 mm (Lampiran 5). *Aspergillus* E.FIB.UI.4.2 menunjukkan pertumbuhan yang lebih cepat pada medium DG 18 *Agar* dengan penambahan *rose bengal* jika dibandingkan pertumbuhan isolat *Aspergillus* lainnya, tetapi *Aspergillus* E.FIB.UI.4.2 tidak menunjukkan pertumbuhan yang lebih cepat pada medium CDA jika dibandingkan pertumbuhan isolat *Aspergillus* lainnya. *Penicillium* E.FIB.UI.2.1.2 tidak menunjukkan perbedaan yang berarti baik pada

medium DG 18 *Agar* dengan penambahan *rose bengal* maupun medium CDA jika dibandingkan pertumbuhan isolat *Penicillium* lainnya. Kemampuan selulolitik tidak dapat dibuktikan dari ukuran diameter koloni pada suatu medium pertumbuhan, tetapi harus menggunakan substrat selulosa. Substrat selulosa yang digunakan dapat berupa kertas yaitu dengan melihat pertumbuhan hifa dan medium yang mengandung CMC yaitu dengan melihat zona bening pada sekitar sumur.

Ruangan koleksi manuskrip kuno di Perpustakaan FIB UI memiliki suhu 16--18° C dengan kelembaban 53 %. Hal tersebut sudah sesuai dengan standar yang ditetapkan UNESCO pada tahun 2006 yang menyatakan kelembaban relatif antara 50% hingga 60% dan suhu ruangan antara 16° hingga 20° C untuk penyimpanan manuskrip kuno. Kondisi lingkungan Perpustakaan FIB UI sudah cukup baik sehingga hanya sedikit isolat kapang yang diperoleh. Identitas kapang yang telah diketahui, diharapkan bermanfaat dalam melakukan preservasi manuskrip kuno kertas Eropa di Perpustakaan FIB UI. Usaha-usaha perlu dilakukan lebih lanjut dalam menghambat pertumbuhan kapang terutama dari genus *Aspergillus* dan *Penicillium*. Ruang penyimpanan manuskrip perlu dibersihkan secara teratur dengan alat penghisap debu yang dilengkapi dengan saringan seminggu sekali. Penyemprotan antifungi perlu dilakukan sebulan sekali sehingga menghambat pertumbuhan dan penyebaran spora kapang. Lemari penyimpanan manuskrip tidak boleh dibiarkan terbuka terlalu lama karena spora kapang dapat menempel pada bagian manuskrip yang terpapar langsung oleh udara. Para pengguna dan kurator manuskrip perlu menggunakan masker agar tidak menghirup udara yang mengandung spora kapang. Valentine (2010: 3) menyebutkan beberapa contoh kapang dari genus *Aspergillus* dan *Penicillium* berpotensi sebagai kapang patogenik.

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 KESIMPULAN

1. Hasil isolasi dan pemurnian kapang dari lima manuskrip kuno kertas Eropa asal Perpustakaan FIB UI menghasilkan 11 isolat kapang xerofilik.
2. Kapang manuskrip yang dapat tumbuh pada substrat kertas Eropa berjumlah 9 isolat dan hanya 8 isolat mampu tumbuh pada substrat CMC yang mengindikasikan menghasilkan enzim endoglukanase.
3. Hasil identifikasi 9 isolat kapang manuskrip yang dapat tumbuh pada kertas Eropa adalah 4 isolat merupakan genus *Aspergillus*, 3 isolat merupakan genus *Penicillium*, dan 2 isolat merupakan *mycelia sterilia*.

#### 5.2 SARAN

1. Identifikasi molekuler perlu dilakukan untuk mengetahui identitas kapang penghasil selulase hingga tingkat spesies.
2. Penapisan dengan substrat selulosa yang lain seperti *Avicel* dan *Cellobiose* perlu dilakukan untuk mengetahui jenis selulase yang dimiliki isolat kapang yang dapat tumbuh pada manuskrip kuno kertas Eropa.

## DAFTAR REFERENSI

- Arroyo, I. 2009. The role of fungi in deterioration of movable and immovable cultural heritage. *e\_conservation* 9: 41--50.
- Atlas, R. M. 2010. *Handbook of microbiological media*. 4rd ed. CRC Press, Florida: vii + 2043 hlm.
- Barnett, H. L. dan B. B. Hunter. 2003. *Illustrated genera of imperfect fungi*. 5rd ed. Burgess Publishing Company, Minnesota: v + 241 hlm.
- Behrend, T. E. & T. Pudjiastuti. 1997. *Katalog induk naskah-naskah nusantara jilid 3A Fakultas Sastra Universitas Indonesia*. Yayasan Obor Indonesia, Jakarta: viii + 598 hlm.
- Benson. 2001. *Microbiological applications: A laboratory manual in general microbiology*. 8th ed. John Wiley & Sons, Inc., New York: xi + 478 hlm.
- Black, J. G. 2008. *Microbiology: Principles and explorations*. 7th ed. John Wiley and Sons, Inc., New York: xxv + 967 hlm.
- Brindha J.R., T.S. Mohan, G. Immanual, S. Jeeva1 & N.C.J.P. Lekshmi. 2011. Studies on amylase and cellulase enzyme activity of the fungal organisms causing spoilage in tomato. *European Journal of Experimental Biology* 1(3): 90--96.
- Campbell, N. A., J. B. Reece & L. G. Mitchell. 2002. *Biologi*. Terj dari *Biology*; oleh Lestari, R., E. I. M. Adil, N. Anita, Andri, W. F. Wibowo, & W. Manulu. Erlangga, Jakarta: xxi + 438 hlm.
- Cappuccino, J. G. & H. Sherman. 2002. *Microbiology: A laboratory manual*. Benjamin Cummings, San Fransisco: xvi + 491 hlm.
- Carlile, M. J., S. C. Watkinson, & G. W. Gooday. 2001. *The fungi*. Academic Press, London: xix + 588 hlm.
- Deacon, J. W. 2006. *Fungal biology*. 4th ed. Blackwell Publishing, Oxford: ix + 371.
- Digital. 2008. Colour chart for Faber Castell polychromos pencils and pastels. 1 hlm. <http://www.drawinganddrafting.com.au/category2471.htm>, 20 Mei 2011, pk. 09.45.

- Fathurahman, Oman. 2010. Manuskrip Islam. 1 hlm.  
<http://bataviase.co.id/node/228705>, 9 Oktober 2011, pk. 18.00.
- Frida, Mugo. 2010. Sampling in research. 1 hlm.  
<http://callharis.com/2010/08/16/introduction-to-sampling>, 9 Oktober 2011, pk. 17.30.
- Food Tech Source. 2002. Water activity. 1 hlm.  
[http://www.foodtechsource.com/rcenter/tech\\_data/td\\_water.htm](http://www.foodtechsource.com/rcenter/tech_data/td_water.htm), 10 April 2012, pk. 18.00.
- Gandjar, I., R. A. Samson, K. van den Tweel-Vermeulen, A. Oetari, & I. Santoso. 1999. *Pengenalan kapang tropik umum*. Yayasan Obor Indonesia. Jakarta: xiii + 136 hlm.
- Gandjar, I., W. Sjamsudrizal, & A. Oetari. 2006. *Mikologi: dasar dan terapan*. Yayasan Obor Indonesia. Jakarta: xii + 234 hlm.
- Halliwell, G. 1979. Microbial  $\beta$ -endoglucanases. *Elsevier Scientific Publishing Company* **1979**: 1--61.
- Hogg, S. 2005. *Essential microbiology*. John Wiley & Sons, Inc., Chichester: xi + 468 hlm.
- Irfan, Ardhan 2006. Pelestarian koleksi naskah di Fakultas Ilmu Pengetahuan Budaya Universitas Indonesia. Skripsi S1 Program Studi Ilmu Perpustakaan dan Informasi FIB UI, Depok: x+ 91 hlm.
- Jaya, D. 2008. *Pemanfaatan watermarking untuk pengamanan multimedia digital*. Lembaga Sandi Negara. Jakarta: 15 hlm.
- Jo, W.S., H.N. Park, D.H. Cho, Y.B. Yoo & S.C. Park. 2011. Optimal media conditions for the detection of extracellular cellulase activity in *Ganoderma neo-japonicum*. *Mycobiology* **39**(2): 129--132.
- Jones, R. 1993. European and Asian papers in Malay manuscripts: a provisional assessment. *The Koninklijk Instituut voor Taal-, Land- en Volkenkunde* **3**: 474--502.
- Kader, A.J. & O. Omar. 1998. Isolation of cellulolytic fungi from Sayap-Kinabalu Park, Sabah, Serawak. *ASEAN Review of Biodiversity and Environmental Conservation* **2**: 1--6.
- Kozok, U. 2004. A 14 th century Malay manuscript from Kerinci. *Archipel* **67**:

37--55.

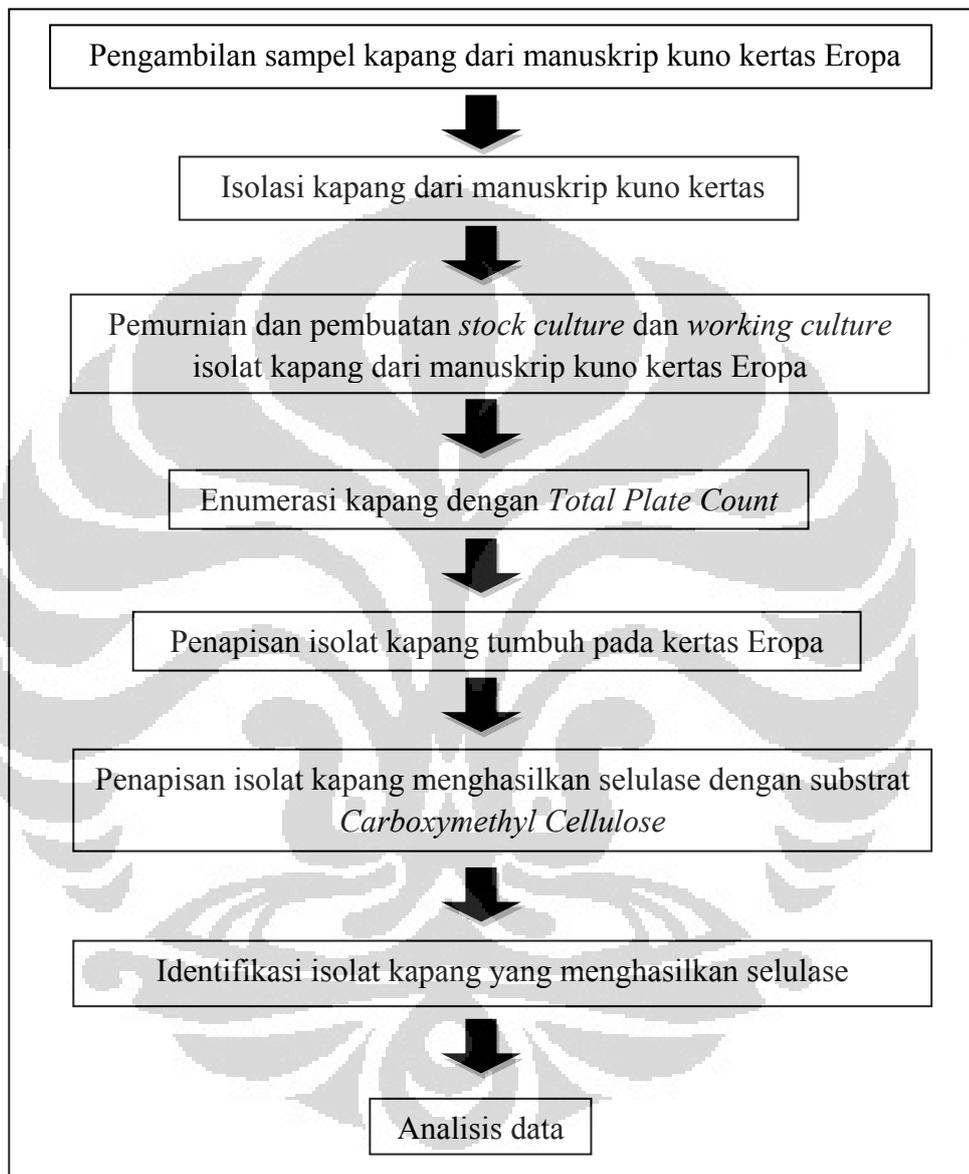
- Lynd, L.R., P.J. Weimer, W.H. van Zyl, & I.S. Pretorius. 2002. Microbial cellulose utilization: Fundamentals and biotechnology. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* **66**(3): 506--577.
- Mackean, D. G., dan I. Mackean. 2011. Fungi: *Rhizopus*, sexual reproduction 3. 1 hlm. <http://www.biology-resources.com/drawing-fungi-05-rhizopus-3.html>, 10 Mei 2012: pk. 16.00.
- Madigan, M.T., J.M. Martinko, D.A. Stahl, & D.P. Clark. 2012. *Brock biology of microorganisms*. 13th ed. Pearson Benjamin Cummings, Inc., San Francisco: xxviii + 1155 hlm.
- Michaelsen, A., G. Piñar, M. Montanari & F. Pinzari. 2008. Biodeterioration and restoration of a 16th-century book using a combination of conventional and molecular techniques: a case study. *International Biodeterioration & Biodegradation* **63**: 161—168.
- Michaelsen, A., G. Piñar, M. Montanari & F. Pinzari. 2009. Molecular and microscopical investigation of the microflora inhabiting a deteriorated Italian manuscript dated from the thirteenth century. *Microbial Ecology* **60**: 69--80.
- Mueller, G. M., G. F. Bills & M. S. Foster. 2004. *Biodiversity of fungi: inventory and monitoring method*. Elsevier Academic Press Inc., Amsterdam: xviii+777 hlm.
- National Park Service Museum Handbook Part I. 2003. *Curatorial Care of Paper Objects*. National Park Service. Washington: 31 hlm.
- Obekottert, L.H., & Rosenberg, F.A. 1978. Extracellular endo- $\beta$ -1,4-glucanase in *Cellvibrio vulgaris*. *Applied and Environmental Microbiology* **36**(1): 205--209.
- Permadi, T. 2005. *Konservasi tradisi pembuatan daluang sebagai salah satu upaya penyelamatan teknologi tradisional nusantara*. Fakultas Pendidikan Bahasa dan Seni, Universitas Pendidikan Indonesia: 19 hlm.

- Perpustakaan Fakultas Ilmu Pengetahuan Budaya Universitas Indonesia. 2009. Perpustakaan Fakultas Ilmu Pengetahuan Budaya Universitas Indonesia.1 hlm.[http://www.fib.ui.ac.id/index.php?option=com\\_content&view=article&id=92:perpustakaan&catid=41:fasilitas-layanan&Itemid=80&lang=in-ID](http://www.fib.ui.ac.id/index.php?option=com_content&view=article&id=92:perpustakaan&catid=41:fasilitas-layanan&Itemid=80&lang=in-ID), 9 Oktober 2011, pk. 17.36.
- Pinzari F., M. Montanari, A. Michaelsen & G. Piñar. 2010. Analytical protocols for the assessment of biological damage in historical documents. *Coalition* 19: 6--13.
- Pitt, J.I. & A. D. Hocking. 2009. *Fungi and food spoilage*. Springer Science + Business Media, New York: xv + 519 hlm.
- Pudjiastuti, T. 2006. *Naskah dan studi naskah*. Akademia, Jakarta: 86 hlm.
- Razak, M., R. Anggraeni, & Supriyanto. 1992. *Pelestarian bahan pustaka dan arsip*. Program pelestarian bahan pustaka dan arsip, Jakarta: 54 hlm.
- Rosa, C & G. Peter. 2006. *Biodiversity and ecophysiology of yeasts*. Springer, Berlin: X + 579 hlm.
- Sahoo, J. 1997. Preservation of library materials: some preventive measures. *Ontario Human Rights Commission* 47(1): 1--10.
- Samson, R.A., E.S. Hoekstra, & J.C. Frisvad. 2004. *Introduction to food and airborne fungi*. 7 th ed. Centraalbureau voor Schimmelcultures, Utrecht: 389 hlm.
- Shamsian, A., A. Fata, M. Mohajeri, & K. Ghazvini. 2006. Fungal contaminations in historical manuscripts at Astan Quds Museum Library, Mashhad, Iran. *International Journal of Agriculture & Biology* 3: 420--422.
- Smith, R.E. 1977. Rapid tube test for detecting fungal cellulase production. *American Society for Microbiology* 33(4): 980--981.
- Sugiyama, J. 1987. *Pleomorphic fungi: The diversity and its taxonomic implications*. Kodansha Ltd., Tokyo: xv + 325 hlm.
- Sulton, Agus. 2011. Manuskrip daerah: pelestarian identitas kultural menuju komoditas. 1hlm. <http://sastra-indonesia.com/2011/05/manuskrip-daerah-pelestarian-identitas-kultural-menuju-komoditas>, 9 Oktober 2011, pk. 18.05.
- Taloro, K. P. & A. Taloro. 2001. *Foundations in microbiology*. 4th ed. Pasadena City College, Pasadena. xxix + 861 hlm.

- Teather, R.M & P.J. Wood. 1982. Use of Congo red-polysaccharide interaction in enumeration and characterization of cellulolytic bacteria from the bovine rumen. *Application Environmental Microbiology* **43**(4): 777--780.
- Universitas Indonesia 2011. Peresmian pemindahan buku ke perpustakaan baru pusat UI. 1hlm. <http://www.ui.ac.id/id/news/archive/4936>, 4 April 2012 pk. 13.00.
- Valentine, N. 2010. Microorganisms in museum collection. *Coalition* **19**: 2--5.
- Webster, J. & R. W. S. Weber. 2007. *Introduction to fungi*. Cambridge University Press, New York: xx + 841 hlm.
- Wirajaya, A.Y. 2009. Daluang atau Dluwang dalam Perspektif Kodikologi. 1 hlm. <http://asepyudha.staff.uns.ac.id/2009/06/04/sekilas-tentang-daluang-atau-dluwang-sebuah-telaah-ringkas-kodikologi/>, 20 Februari 2012, pk. 20.00.
- Yoon, J.H., J.E. Park, D.Y. Suh, S.B. Hong, S.J. Ko, & S.H. Kim. 2007. Comparison of dyes for easy detection of extracellular cellulases in fungi. *Mycobiology* **35**(1): 21--24.

## Lampiran 1

## Skema kerja penelitian



## Lampiran 2

Standar warna Faber Castell  
[Sumber: Digital 2008: 1]

101	white	166	grass green
103	ivory	171	light green
102	cream	170	apple green
104	zinc yellow	168	moss green
105	lemon cadmium	167	sap green
106	light chrome	158	sea green
107	lemon	159	Hooker's green
108	canary yellow	165	juniper green
109	orange yellow	172	grey green
111	tangerine	174	cedar green
113	light orange	173	olive green
115	dark orange	175	dark sepia
117	vermillion	177	sepia light
118	scarlet lake	176	van Dyck brown
121	pale geranium lake	178	nougat
126	dark carmine	180	raw umber
127	light carmine	179	bistre
123	fuchsia	182	brown ochre
133	wine red	183	gold ochre
125	dark magenta	185	light ochre
142	madder	184	ochre
128	rose madder lake	186	terracotta
129	pink madder lake	191	Pompeian red
119	light magenta	188	sanguine
134	magenta	187	burnt ochre
135	red violet	189	cinnamon
136	dark violet	190	Venetian red
138	violet	192	Indian red
139	light violet	193	burnt carmine
140	light ultramarine	169	caput mortuum
160	manganese violet	194	purple
137	blue violet	124	rose carmine
141	Delft blue	130	dark flesh
157	dark indigo	131	medium flesh
144	light cobalt blue	132	light flesh
120	ultramarine	270	warm grey I
143	deep cobalt	271	warm grey II
146	sky blue	272	warm grey III
147	light blue	273	warm grey IV
145	light phthalo blue	274	warm grey V
152	dark phthalo blue	275	warm grey VI
110	zinc blue	230	cold grey I
151	Prussian blue	231	cold grey II
149	oriental blue	232	cold grey III
155	night green	233	cold grey IV
153	peacock blue	234	cold grey V
154	aquamarine	235	cold grey VI
156	blue green	181	Payne's grey
161	viridian	199	black
163	emerald green	099	soft black
162	true green	250	gold
112	leaf green	251	silver
		252	copper

## Lampiran 3

Hasil enumerasi isolat kapang di medium PCA dengan penambahan *rose bengal* dan gliserol serta isolat kontrol pada medium PCA, berumur 7 hari pada suhu 27° C

Kode Isolat	Pengen- ceran	Pengulangan			Jumlah koloni rata-rata	Kisaran jumlah koloni (CFU/ml)
		I	II	III		
E.FIB.UI.1.1.1	10 <sup>-4</sup>	72	65	70	6,9 x 10 <sup>6</sup>	(6,9 - 8,7) x 10 <sup>6</sup>
	10 <sup>-5</sup>	8	9	8	8,7 x 10 <sup>6</sup>	
	10 <sup>-6</sup>	0	0	0	-	
E.FIB.UI.1.1.2	10 <sup>-4</sup>	155	222	199	1,9 x 10 <sup>7</sup>	(1,9 - 5,6) x 10 <sup>7</sup>
	10 <sup>-5</sup>	52	62	57	5,6 x 10 <sup>7</sup>	
	10 <sup>-6</sup>	6	5	-	5,5 x 10 <sup>7</sup>	
E.FIB.UI.1.2	10 <sup>-4</sup>	57	67	77	6,7 x 10 <sup>6</sup>	(6,7 - 8) x 10 <sup>6</sup>
	10 <sup>-5</sup>	5	13	6	8 x 10 <sup>6</sup>	
	10 <sup>-6</sup>	0	0	0	0	
E.FIB.UI.2.1.1	10 <sup>-4</sup>	>300	>300	>300	-	(8,6 - 9,9) x 10 <sup>7</sup>
	10 <sup>-5</sup>	84	101	112	9,9 x 10 <sup>7</sup>	
	10 <sup>-6</sup>	8	10	8	8,6 x 10 <sup>7</sup>	
E.FIB.UI.2.1.2	10 <sup>-4</sup>	>300	>300	>300	-	(2,7 - 4,7) x 10 <sup>7</sup>
	10 <sup>-5</sup>	328	208	276	2,7 x 10 <sup>7</sup>	
	10 <sup>-6</sup>	52	47	42	4,7 x 10 <sup>7</sup>	
E.FIB.UI.2.2	10 <sup>-4</sup>	231	219	212	2,2 x 10 <sup>7</sup>	(2,2 - 3,3) x 10 <sup>7</sup>
	10 <sup>-5</sup>	24	36	36	3,2 x 10 <sup>7</sup>	
	10 <sup>-6</sup>	4	4	3	3,3 x 10 <sup>7</sup>	
E.FIB.UI.2.8	10 <sup>-4</sup>	>300	>300	>300	-	(1,1 - 2,1) x 10 <sup>7</sup>
	10 <sup>-5</sup>	113	124	102	1,1 x 10 <sup>7</sup>	
	10 <sup>-6</sup>	23	19	21	2,1 x 10 <sup>7</sup>	
E.FIB.UI.3.3	10 <sup>-4</sup>	89	80	83	8,4 x 10 <sup>6</sup>	(8 - 8,4) x 10 <sup>6</sup>
	10 <sup>-5</sup>	7	8	9	8 x 10 <sup>6</sup>	
	10 <sup>-6</sup>	0	0	0	0	
E.FIB.UI.4.2	10 <sup>-4</sup>	>300	>300	>300	-	(4 - 5) x 10 <sup>7</sup>
	10 <sup>-5</sup>	33	67	50	5 x 10 <sup>7</sup>	
	10 <sup>-6</sup>	3	6	3	4 x 10 <sup>7</sup>	
E.FIB.UI.4.3	10 <sup>-4</sup>	77	64	70	7 x 10 <sup>7</sup>	(7 - 8,3) x 10 <sup>7</sup>
	10 <sup>-5</sup>	10	7	8	8,3 x 10 <sup>7</sup>	
	10 <sup>-6</sup>	0	0	0	0	
E.FIB.UI.5.3	10 <sup>-4</sup>	>300	>300	>300	-	(3,5 - 3,7) x 10 <sup>7</sup>
	10 <sup>-5</sup>	34	35	35	3,5 x 10 <sup>7</sup>	
	10 <sup>-6</sup>	3	4	4	3,7 x 10 <sup>7</sup>	
<i>Rhizopus oryzae</i> UICC 24b (kontrol negatif)	10 <sup>-4</sup>	>300	>300	>300	-	(2,4 - 4) x 10 <sup>7</sup>
	10 <sup>-5</sup>	24	34	24	2,4 x 10 <sup>7</sup>	
	10 <sup>-6</sup>	2	4	6	4 x 10 <sup>7</sup>	
<i>Aspergillus niger</i> UICC 371 (kontrol positif)	10 <sup>-4</sup>	98	166	124	1,27 x 10 <sup>7</sup>	(1,27 - 2,3) x 10 <sup>7</sup>
	10 <sup>-5</sup>	33	14	16	2,1 x 10 <sup>7</sup>	
	10 <sup>-6</sup>	2	3	2	2,3 x 10 <sup>7</sup>	

Lampiran 4

Diaemeter koloni pada medium pada medium DG18 *Agar* dengan penambahan *rose bengal*

Kode isolat	Hari 1			Hari 2			Hari 3			Hari 4			Hari 5			Hari 6		
	Rata-rata tiap koloni			Rata-rata tiap koloni			Rata-rata tiap koloni			Rata-rata tiap koloni			Rata-rata tiap koloni			Rata-rata tiap koloni		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
E.FIB.UI.1.1.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E.FIB.UI.1.1.2	-	-	-	1,80	2,71	5,64	8,80	8,32	11,34	13,75	12,84	17,23	19,29	18,34	22,57	31,91	30,65	34,71
E.FIB.UI.1.2	-	-	-	3,81	2,66	2,86	9,05	8,78	7,81	13,86	14,93	13,27	21,96	20,94	20,06	28,87	27,17	28,96
E.FIB.UI.2.1.1	-	-	-	5,07	5,06	4,10	7,25	7,34	7,10	8,10	8,12	8,00	9,51	9,37	8,89	15,26	16,11	14,74
E.FIB.UI.2.1.2	-	-	-	3,40	4,01	4,34	4,01	4,93	5,25	5,77	5,22	7,03	7,43	6,98	8,29	14,35	13,75	14,73
E.FIB.UI.2.2	-	-	-	4,81	-	-	9,45	4,33	-	14,83	11,61	-	20,18	17,42	5,25	30,46	28,05	13,00
E.FIB.UI.2.8	-	-	-	2,11	2,29	1,90	4,59	3,96	4,60	9,18	10,68	10,06	13,67	12,91	12,86	15,75	16,06	15,93
E.FIB.UI.3.3	-	-	-	-	-	-	2,38	3,19	-	6,56	5,80	5,81	23,42	17,67	17,02	29,01	25,34	25,36
E.FIB.UI.4.2	-	-	-	4,56	6,79	5,60	16,30	14,32	14,63	21,65	20,58	20,89	28,80	27,70	27,15	35,45	34,90	34,78
E.FIB.UI.4.3	-	-	-	-	-	-	8,03	5,27	3,43	14,03	12,56	11,21	23,41	22,82	19,58	31,11	30,12	28,20
E.FIB.UI.5.3	-	-	-	4,76	4,11	-	8,93	8,47	11,70	14,30	14,06	14,76	17,98	19,42	10,13	30,34	27,09	17,28
Kode isolat	Hari 7			Hari 8			Hari 9			Hari 10								
	Rata-rata tiap koloni			Rata-rata tiap koloni			Rata-rata tiap koloni			Rata-rata tiap koloni								
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3						
E.FIB.UI.1.1.1	-	-	-	5,70	5,16	-	12,98	6,53	-	17,53	17,26	-						

Lampiran 5

Diaemeter koloni pada medium pada medium CDA

Kode isolat	Hari 1			Hari 2			Hari 3			Hari 4			Hari 5			Hari 6		
	Rata-rata tiap koloni			Rata-rata tiap koloni			Rata-rata tiap koloni			Rata-rata tiap koloni			Rata-rata tiap koloni			Rata-rata tiap koloni		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
E.FIB.UI.1.1.1	-	-	-	11.83	15.51	14.80	21.37	23.37	23.22	20.39	25.29	25.99	35.5	36.89	36.31	35.07	38.18	40.74
E.FIB.UI.1.1.2	-	-	-	10.84	12.16	12.26	18.09	17.92	16.59	22.13	23.64	20.29	27.61	27.33	27.73	30.67	31.31	30.33
E.FIB.UI.1.2	-	-	-	3.83	3.58	4.04	7.41	7.08	7.86	10.22	10.27	10.37	13.70	12.62	13.45	15.38	14.36	15.06
E.FIB.UI.2.11	-	-	-	6.28	7.39	7.98	8.81	10.50	10.06	11	12.44	13.35	13.09	14.98	17.34	16.21	17.81	17.47
E.FIB.UI.2.1.2	-	-	-	6.08	6.67	7.06	8.25	8.76	9.72	12.93	11.99	12.11	21.11	15.80	16.47	22.35	17.11	17.67
E.FIB.UI.2.2	-	-	-	9.86	12.48	10.29	19.36	20.10	17.88	22.38	24.78	23.51	31.99	32.76	31.71	36.43	34.13	35.64
E.FIB.UI.2.8	-	-	-	7.30	5.84	5.24	10.14	8.31	8.05	12.26	11.38	10.71	15.99	14.91	14.32	17.70	16.38	15.33
E.FIB.UI.3.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.71	3.09	-	4.91	4.45	3.71	5.80	4.85	3.34
E.FIB.UI.4.2	-	-	-	12.90	11.97	13.08	17.27	18.98	19.84	19.85	21.98	22.45	22.95	28.05	30.01	23.98	30.15	30.30
E.FIB.UI.4.3	-	-	-	4.19	3.98	3.38	6.15	5.71	5.46	8.03	8.56	8.04	11.33	11.24	11.54	11.96	12.24	12.47
E.FIB UI 5.3				11.13	11.72	10.70	16.58	18.12	17.40	20.57	20.86	21.80	28.02	27.97	27.91	31.83	30.67	32.59

Kode isolat	Hari 7			Hari 8		
	Rata-rata tiap koloni			Rata-rata tiap koloni		
	1	2	3	1	2	3
E.FIB.UI.1.1.1	42.21	49.13	53.20	11.83	15.51	14.80
E.FIB.UI.1.1.2	37.70	39.09	35.09			
E.FIB.UI.1.2	17.51	16.45	17.52	17.45	16.95	18.93
E.FIB.UI.2.11	18.94	21.50	22.17	22.80	24.28	24.33
E.FIB.UI.2.1.2	19.16	22.70	23.75	28.86	24.31	24.55
E.FIB.UI.2.2	43.03	43.02	39.96			
E.FIB.UI.2.8	20.40	21.21	19.60	23.24	22.44	21.36
E.FIB.UI.3.3	7.19	5.73	5.58	7.37	6.24	6.73
E.FIB.UI.4.2						
E.FIB.UI.4.3	13.16	13.04	13.16	13.12	12.19	13.66
E.FIB UI 5.3	37.31	37.13	37.56			