

**ISOLASI DAN KARAKTERISASI CENDAWAN SELULOLITIK DARI  
TANAH PERKEBUNAN TEBU DESA GUNUNG WARAS, KABUPATEN  
WAY KANAN**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**RONY SETIAWAN**

**NPM 1917061017**



**PROGRAM STUDI BIOLOGI TERAPAN  
JURUSAN BIOLOGI  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDARLAMPUNG  
2023**

## ABSTRAK

### ISOLASI DAN KARAKTERISASI CENDAWAN SELULOLITIK DARI TANAH PERKEBUNAN TEBU DESA GUNUNG WARAS, KABUPATEN WAY KANAN

Oleh

Rony Setiawan

Produksi tebu yang meningkat menyebabkan peningkatan limbah di lahan perkebunan tebu berupa daun dan sisa batang tebu tidak terpakai dengan kandungan selulosa yang tinggi. Salah satu cara untuk menangani limbah organik tersebut yaitu dengan mengaplikasikan agen biodegradasi berupa cendawan selulolitik, sehingga perlu dilakukan penapisan cendawan selulolitik yang mampu tumbuh dan beradaptasi di lingkungan residu tanaman tebu. Sintesis selulosa kebanyakan dilakukan oleh tumbuhan dan dideragadasi oleh cendawan dan bakteri menjadi senyawa-senyawa sederhana untuk dirubah menjadi energi. Pertumbuhan cendawan dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain pH, temperatur, cahaya, air dan aerasi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui jenis-jenis cendawan selulolitik yang terdapat pada tanah perkebunan tebu di Desa Gunung Waras, Kabupaten Way Kanan dan mengevaluasi pengaruh variasi suhu dan pH terhadap cendawan tersebut serta menguji patogenitas cendawan selulolitik yang didapat terhadap tanaman. Hasil dari penelitian ini yaitu peroleh 2 isolat cendawan yang mempunyai kemampuan degradasi selulosa yaitu *Cunninghamella* sp. dan *Trichoderma* sp. dengan indeks selulolitik tertinggi pada cendawan *Cunninghamella* sp. yaitu 0,754 dan terendah *Trichoderma* sp. yaitu 0,403. Cendawan *Cunninghamella* sp. dan *Trichoderma* sp. yang didapat toleran terhadap beberapa variasi pH media pertumbuhan dan tidak ada perbedaan nyata pada taraf  $\alpha$  0,05 rerata biomassa miselium pada variasi pH media pertumbuhan 3, 5 dan 7. Cendawan *Cunninghamella* sp. dan *Trichoderma* sp. tumbuh baik pada suhu 25°C, namun tidak mampu tumbuh pada suhu 45°C. Cendawan *Cunninghamella* sp. dan *Trichoderma* sp. yang diperoleh mampu menimbulkan respon hipersensitifitas pada tanaman uji yaitu tembakau dan tebu.

**Kata Kunci:** cendawan, patogen, pH, selulosa, suhu, tanah, tanaman, tebu

## ABSTRACT

### ISOLATION AND CHARACTERIZATION OF CELLULOLYTIC FUNGI FROM SUGARCANE PLANTATION SOIL OF GUNUNG WARAS VILLAGE, WAY KANAN DISTRICT

By

**Rony Setiawan**

Increased sugarcane production causes an increase in waste in sugarcane plantations in the form of unused leaves and residual sugarcane stalks with high cellulose content. One way to deal with this organic waste is by applying biodegradation agents in the form of cellulolytic fungi, so it is necessary to screen cellulolytic fungi that are able to grow and adapt in the sugarcane residue environment. Cellulose synthesis is mostly carried out by plants and is degraded by fungi and bacteria into simple compounds that can be converted into energy. The growth of fungi is influenced by several factors, including pH, temperature, light, water, and aeration. The purpose of this study was to determine the types of cellulolytic fungi found in sugarcane plantation soil in Gunung Waras Village, Way Kanan Regency, evaluate the effect of temperature and pH variations on these fungi, and test the pathogenicity of cellulolytic fungi obtained against plants. The results of this study were obtained 2 isolates of fungi that have the ability to degrade cellulose, namely *Cunninghamella* sp. and *Trichoderma* sp., with the highest cellulolytic index in *Cunninghamella* sp., which is 0.754, and the lowest in *Trichoderma* sp., which is 0.403. The *Cunninghamella* sp. and *Trichoderma* sp. fungi obtained were tolerant of several variations in the pH of the growth media, and there was no significant difference at the  $\alpha$  0.05 level in the mean mycelial biomass at variations in the pH of the growth media 3, 5, and 7. The *Cunninghamella* sp. and *Trichoderma* sp. fungi grew well at 25°C, but were unable to grow at 45°C. The fungi *Cunninghamella* sp. and *Trichoderma* sp. obtained were able to cause disease symptoms in the test plants, namely tobacco and sugarcane.

**Keywords:** cellulose, fungi, pathogens, pH, plants, soil, sugarcane, temperature

**ISOLASI DAN KARAKTERISASI CENDAWAN SELULOLITIK DARI  
TANAH PERKEBUNAN TEBU DESA GUNUNG WARAS, KABUPATEN  
WAY KANAN**

**Oleh  
Rony Setiawan**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar  
SARJANA SAINS**

**pada**

**Progran Studi Biologi Terapan  
Jurusan Biologi  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDARLAMPUNG**

**2023**

Judul Skripsi : **ISOLASI DAN KARAKTERISASI  
CENDAWAN SELULOLITIK DARI TANAH  
PERKEBUNAN TEBU DESA GUNUNG  
WARAS, KABUPATEN WAY KANAN**

Nama Mahasiswa : **RONY SETIAWAN**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1917061017

Program Studi : S1 Biologi Terapan

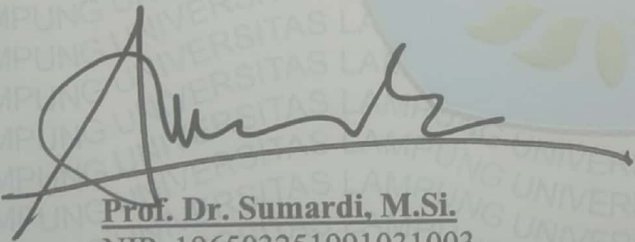
Fakultas : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

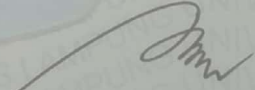
**MENYETUJUI**

1. Komisi Pembimbing

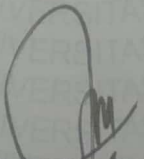
Pembimbing Utama

Pembimbing Kedua

  
**Prof. Dr. Sumardi, M.Si.**  
NIP. 196503251991031003

  
**Prof. Dr. Ir. Sri Yumnaini, M.Si.**  
NIP. 196305081988112001

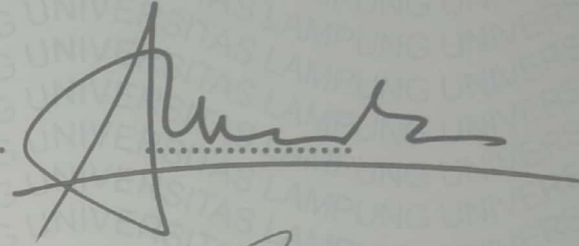
2. Ketua Jurusan Biologi FMIPA

  
**Dr. Jani Master, M. Si.**  
NIP. 198301312008121001

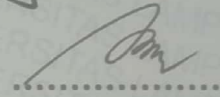
**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

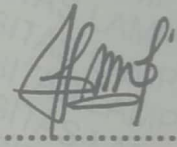
Ketua : **Prof. Dr. Sumardi, M.Si.**



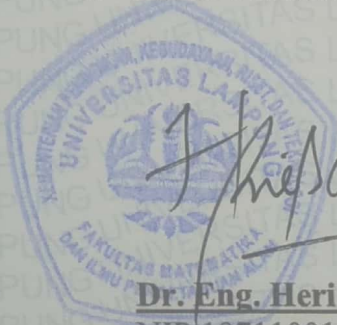
Sekretaris : **Prof. Dr. Sri Yusnaini, M.Si.**



Penguji : **Dr. Kusuma Handayani, M.Si.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**Dr. Eng. Heri Satria, M.Si.**  
NIP 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **02 Agustus 2023**

## PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Rony Setiawan  
NPM : 1917061017  
Jurusan : Biologi  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa skripsi saya yang berjudul:

**“Isolasi dan Karakterisasi Cendawan Selulolitik dari Tanah Perkebunan Tebu Desa Gunung Waras, Kabupaten Way Kanan”**

Baik gagasan, data, maupun pembahasannya adalah **benar** karya saya sendiri yang saya susun dengan mengikuti norma dan etika yang berlaku dan saya memastikan bahwa tingkat similaritas skripsi ini tidak lebih dari 20%.

Jika dikemudian hari terbukti pernyataan saya ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar sarjana maupun tuntutan hukum.

Bandarlampung, 15 Agustus 2023

Yang menyatakan,



Rony Setiawan  
NPM. 1917061017

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Tiyuh Pulung Kencana pada tanggal 25 Agustus 1999, sebagai anak pertama dari dua bersaudara, dari pasangan Bapak Ridho, dan Ibu Suhartini.

Penulis menyelesaikan pendidikan dasar di Sekolah Dasar di SD N 04 Pulung Kencana pada tahun 2010, pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP N 4 Tulang Bawang Tengah pada tahun 2013, dan pendidikan Sekolah Menengah Kejuruan di SMK N

1 Tulang Bawang Tengah pada Kompetensi Keahlian Agribisnis Tanaman Pangan dan Hortikultura pada tahun 2017. Pada tahun 2019, penulis diterima di Perguruan Tinggi Negeri (PTN) Universitas Lampung dengan program studi Biologi Terapan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Pada Februari tahun 2022 penulis melaksanakan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di Bidang Laboratorium Forensik Kepolisian Daerah Jawa Timur dengan judul **“Optimasi *Leucomalachite Green* sebagai Reagen Uji Barang Bukti Darah.”**

Pada tahun yang sama di bulan Juni-Agustus penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di desa Pelindung Jaya, Kecamatan Gunung Pelindung, Kabupaten Lampung Timur Selama 40 hari.



## **PERSEMBAHAN**

Segala puji milik Allah Tuhan semesta alam. Dengan-Nya kami meminta pertolongan dalam segala urusan. Semoga selawat dan salam Allah atas tuan kita Muhammad penutup para nabi, keluarganya, dan sahabatnya semua. Tidak ada daya dan upaya kecuali dengan pertolongan dari Allah Yang Maha Tinggi dan Maha Mulia, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Skripsi ini penulis persembahkan kepada:

Orang-orang yang haus akan ilmu, yang mengabdikan waktu dan dirinya di jalan menuntut ilmu, mudah-mudahan Tuhan menyingkapkan perbendaharan ilmu di alam raya ini bagi mereka, memudahkan jalan mereka, serta meninggikan derajat mereka.

Kedua orang tua yang memberikan dukungan, semangat dan motivasi kepada penulis. Mudah-mudahan Tuhan membahagiakan mereka.

Seluruh sivitas akademika di lingkungan Universitas Lampung, khususnya Jurusan Biologi yang telah membagikan ilmu dan pengalaman berharga serta bimbingannya kepada penulis.

**Almamater tercinta Universitas Lampung**

## **MOTTO**

Bacalah dengan (menyebut) nama Tuhanmu yang menciptakan. Dia telah menciptakan manusia dari segumpal darah. Bacalah, dan Tuhanmulah Yang Maha Pemurah, yang mengajar (manusia) dengan perantaraan *qalam*. Dia mengajarkan kepada manusia apa yang tidak diketahuinya (Q.S. Al-‘Alaq [96]: 1-5).

Akal budi adalah sumber kehidupan bagi yang mempunyainya, tetapi siksaan bagi orang bodoh ialah kebodohnya (Amsal 16:22).

Gelar akademik, bukanlah suatu gelar kehormatan. Gelar akademik adalah gelar keilmuan yang harus dipertanggung jawabkan, tidak perlu terlalu sering menyematkan gelar akademik diantara nama kita, gunakan gelar akademik seperlunya.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Segala puji bagi Allah yang telah mengangkat harkat derajat manusia dengan ilmu dan amal, atas seluruh alam. Selawat dan salam semoga terlimpah atas Nabi Muhammad, pemimpin seluruh umat manusia, dan semoga pula tercurah atas keluarga dan para sahabatnya yang menjadi sumber ilmu dan hikmah. Berkat kasih Sang Maha Pengasih dan petunjuk Sang Maha Pemberi Petunjuk, penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Isolasi dan Karakterisasi Cendawan Selulolitik dari Tanah Perkebunan Tebu Desa Gunung Waras, Kabupaten Way Kanan,”** sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains Bidang Biologi di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

Dalam penyusunan skripsi ini, banyak hambatan dan rintangan yang penulis hadapi. Namun, dengan dukungan dan bantuan dari berbagai pihak, kendala-kendala tersebut dapat teratasi. Oleh karena itu penulis mengucapkan terimakasih sebesar besarnya kepada:

1. Kedua orang tua, Bapak Ridho dan Ibu Suhartini dan adik saya Dimas Adi Prastiyo yang telah memberikan segalanya untuk perjalanan kuliah saya.
2. Bapak Prof. Dr. Sumardi, M.Si. selaku pembimbing utama sekaligus rekan diskusi dalam skripsi saya yang telah memberikan masukan, kritik dan saran.
3. Ibu Prof. Dr. Sri Yusnaini, M.Si. selaku pembimbing kedua dalam skripsi saya yang telah memberikan masukan, kritik dan saran.

4. Ibu Dr. Kusuma Handayani, M.Si. selaku pembahas skripsi saya yang memberikan kritik, dan saran yang membangun dalam upaya perbaikan skripsi ini.
5. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, M.Si. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
6. Bapak Dr. Jani Master, S.Si., M.Si. selaku Ketua Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
7. Ibu Gina Dania Pratami, S.Si., M.Si. selaku Ketua Program Studi S1 Biologi Terapan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
8. Bapak Drs. M. Kanedi, M.Si. selaku Dosen Pembimbing Akademik.
9. Keluarga besar Laboratorium Mikrobiologi FMIPA Universitas Lampung dan kawan-kawan baik saya, serta seluruh organisme yang berkontribusi dalam penelitian saya, terutama kepada Laboran Mbak Oni Mastuti, Ayuni Mitra Sari, Mutia Sari, Salimah Johariah Nuraini, Emilia, cendawan, tanaman tembakau dan tebu.
10. Almamater tercinta Universitas Lampung.

Rasa hormat dan terimakasih yang mendalam bagi semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu atas segala doa dan dukungannya, semoga Allah SWT membalas segala kebaikan yang telah mereka berikan kepada penulis. Akhir kata, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, tetapi penulis berharap semoga karya ini dapat bermanfaat bagi kita semua, terutama demi kemajuan ilmu pengetahuan.

Tidak ada penolong kecuali Allah, hanya kepada-Nya saya berserah diri, dan kehadirat-Nya saya kembali.

Bandarlampung, 08 Agustus 2023

Penulis

Rony Setiawan

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	v
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	viii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	ix
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Tujuan Penelitian.....	3
1.3. Manfaat Penelitian.....	3
1.4. Hipotesis Penelitian .....	4
1.5. Kerangka Pikir.....	4
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	7
2.1. Tebu ( <i>Saccharum officinarum</i> L.).....	7
2.2. Selulosa .....	8
2.3. Biodegradasi Selulosa oleh Mikroba.....	10
2.4. Tanah Perkebunan Tebu .....	11
2.5. Fungi.....	15
<b>III. METODE PENELITIAN</b> .....	22
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian .....	22
3.2. Alat dan Bahan Penelitian .....	22
3.3. Rancangan Penelitian .....	23
3.4. Prosedur Kerja .....	26
3.4.1. Pengambilan Sampel.....	26
3.4.2. Isolasi Cendawan .....	26
3.4.3. Penapisan Cendawan Selulolitik.....	27
3.4.4. Identifikasi Isolat Cendawan Selulolitik.....	28
3.4.5. Uji Pengaruh Variasi pH Media terhadap Biomassa Miselium .....	28
3.4.6. Uji Pengaruh Variasi Suhu Inkubasi terhadap Luas Miselium.....	29
3.4.7. Uji Hipersensitifitas Tanaman terhadap Isolat Cendawan Selulolitik.....	30
3.5. Analisis Data .....	30
3.6. Bagan Alir Penelitian .....	31

<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	32
4.1. Hasil.....	32
4.1.1. Isolasi dan Seleksi Cendawan Selulolitik .....	32
4.1.2. Karakterisasi dan Identifikasi .....	35
4.1.3. Pengaruh Variasi pH Media terhadap Biomassa Cendawan .....	40
4.1.4. Pengaruh Variasi Suhu Inkubasi terhadap Luas Miselium.....	41
4.1.5. Uji Hipersensitifitas Tanaman terhadap Isolat Cendawan Selulolitik.....	43
4.2. Pembahasan .....	44
4.2.1. Isolasi dan Seleksi Cendawan Selulolitik .....	44
4.2.2. Karakterisasi dan Identifikasi .....	46
4.2.3. Pengaruh Variasi pH Media terhadap Biomassa Cendawan .....	48
4.2.4. Pengaruh Variasi Suhu Inkubasi terhadap Luas Miselium.....	50
4.2.5. Uji Hipersensitifitas Tanaman terhadap Isolat Cendawan Selulolitik.....	51
<b>V. SIMPULAN</b> .....	53
5.1. Simpulan.....	53
5.2. Saran .....	53
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	55
<b>LAMPIRAN</b> .....	64

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
1. Komposisi Kimia Serasah Tebu .....	8
2. Keragaman sifat kimia dan mikroba tanah perkebunan tebu .....	13
3. Rerata indeks selulolitik, luas miselium cendawan pada variasi suhu inkubasi, biomassa miselium cendawan pada variasi pH media dan hasil uji hipersensitifitas cendawan terhadap tanaman tembakau dan tebu.....	34
4. Hasil karakterisasi cendawan selulolitik pada media agar CMC pH 5 .....	36
5. Hasil uji ANARA faktorial dua arah biomassa cendawan.....	41

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Peta Konsep Kerangka Pikir .....	5
2. Struktur Kimia Selulosa .....	9
3. Selulosa dalam dinding sel tanaman .....	10
4. Mekanisme degradasi selulosa oleh enzim selulase .....	11
5. Berbagai bentuk pertumbuhan cendawan .....	17
6. Strategi pertumbuhan cendawan pada polimer tak larut .....	18
7. Denah Rancangan Acak Lengkap Uji Variasi pH Media Pertumbuhan .....	24
8. Denah Rancangan Acak Kelompok Lengkap pada Uji Variasi Suhu Inkubasi .....	25
9. Lokasi Pengambilan Sampel Tanah .....	26
10. Ilustrasi Diameter Koloni Jamur dan Zona Jernih .....	27
11. Bagan Alir Penelitian .....	31
12. Hasil seleksi cendawan selulolitik .....	32
13. Diagram perbandingan indeks selulolitik.....	35
14. Tampilan Makroskopis <i>Cunninghamella</i> sp. ....	37
15. Tampilan Mikroskopis <i>Cunninghamella</i> sp. ....	38
16. Tampilan Makroskopis <i>Trichoderma</i> sp.....	39
17. Tampilan Mikroskopis <i>Trichoderma</i> sp.....	39
18. Perbandingan Rerata Biomassa Cendawan pada Media Dengan Variasi pH .....	40
19. Luas Miselium Cendawan Selulolitik pada Variasi Suhu Inkubasi.....	42
20. Hasil Uji Hipersensitifitas Isolat Cendawan pada Daun Tembakau .....	43
21. Hasil Uji Hipersensitifitas Isolat Cendawan pada Daun Tebu .....	43



## I. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Konservasi dan restorasi tanah adalah isu yang paling signifikan dalam pertanian berkelanjutan. Tanaman menentukan keseimbangan sintesis bahan organik, dekomposisi, dan limbah organik yang ditinggalkan pada lahan pertanian. Dekomposisi bahan organik residu tanaman yang tersisa pada tanah sangat penting untuk tujuan pengelolaan tanah seperti melestarikan dan mengisi kembali bahan organik tanah (Grzyb *et al.*, 2020)

Badan Pusat Statistik (BPS) mencatat produksi tebu Provinsi Lampung pada tahun 2022 mencapai 723.707 ton (Kementerian Pertanian Republik Indonesia, 2023). Peningkatan produksi tebu diiringi pula dengan meningkatnya limbah di lahan perkebunan tebu berupa daun dan sisa batang tebu tidak terpakai. Serasah tebu memiliki komposisi kimia diantaranya selulosa 38,3 %, hemiselulosa 30,06 %, lignin 8,88 % dan abu 3,98 % (Kurniawan dan Yuliatun, 2008). Selulosa merupakan polimer yang terdiri dari unit  $\beta$ -D-glukosa yang saling terkait melalui ikatan  $\beta$ -1,4-glikosida (Wüstenberg, 2014) dan menjadi komponen terbesar dari serasah tebu. Solusi dari permasalahan tersebut yaitu dengan mengaplikasikan agen biodegradasi berupa cendawan selulolitik untuk membantu penguraian serasah tebu yang menjadi limbah pada lahan pertanian. Cendawan memiliki peran penting dalam siklus karbon global dengan menguraikan biomassa tanaman. Selulosa merupakan salah satu sumber karbon utama bagi banyak cendawan. Proses degradasi polisakarida dinding sel menjadi monosakarida, melibatkan enzim-enzim ekstraseluler yang dihasilkan oleh cendawan yang kemudian diubah menjadi energi (Khosravi *et al.*, 2015).

Cendawan berperan penting dalam ekosistem dengan terlibat dalam siklus hara dan aliran energi (Buée *et al.*, 2009). Cendawan saprofit mengubah bahan organik menjadi nutrisi anorganik yang dapat diserap oleh tanaman (Morris and Robertson, 2005). Cendawan selulolitik dianggap sebagai faktor kunci untuk membuat kompos berkualitas tinggi (Hubbe *et al.*, 2010). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa aplikasi jamur selulolitik meningkatkan kemampuan menahan air pada sampel yang diinokulasi jamur dan menyeimbangkan rasio C:N dari limbah selulosa (Hart *et al.*, 2002; Sivaramanan, 2014). Selain itu, penambahan mikroorganisme seperti jamur, bakteri, dan mikroba lainnya terbukti dapat mempersingkat durasi pengomposan (Mishra and Nain, 2013). Cendawan selulolitik menghasilkan enzim selulase untuk medegradasi selulosa, jenis cendawan yang memiliki kemampuan medegradasi selulosa antara lain *Trichoderma reesei*, *Aspergillus niger*, dan *Penicillium* (Díaz *et al.*, 2021; Elfiati dkk., 2019; Li *et al.*, 2021).

Secara alami di dalam tumpukan limbah terdapat mikroba yang dapat medegradasi selulosa. Partikel-partikel organik atau serasah menjadi tempat hidup bagi mikroorganisme seperti cendawan, bakteri dan organisme lainnya. Mikroba selulolitik hidup pada lapisan tanah dengan kedalaman 0-30 cm dan bersifat aerob (Roza dkk., 2013).

Pertumbuhan cendawan dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain pH, temperatur, cahaya, air dan aerasi (Irawan, 2021). Penelitian terdahulu yang telah dilakukan tentang isolasi, karakterisasi, dan identifikasi cendawan selulolitik menunjukkan bahwa banyak jenis cendawan selulolitik berhasil diisolasi dari lingkungan cairan rumen hewan, tanah, dan daun (Andriani and Pratiwy, 2021; James *et al.*, 2022; Sari dkk., 2017). Beberapa penelitian juga menyatakan bahwa pH dan suhu juga mempengaruhi pertumbuhan cendawan (Pietikäinen *et al.*, 2005; Sharma *et al.*, 2016; Xiong *et al.*, 2022).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui jenis-jenis cendawan cendawan selulolitik yang terdapat pada tanah perkebunan tebu di Desa Gunung Waras, Kabupaten Way Kanan dan mengevaluasi pengaruh variasi

suhu dan pH terhadap cendawan tersebut serta menguji respon hipersensitifitas tanaman terhadap cendawan selulolitik yang didapat.

Penelitian tentang cendawan selulolitik beserta karakternya yang diisolasi dari tanah perkebunan tebu di Desa Gunung Waras, Kabupaten Way Kanan masih terbatas, oleh karena itu penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam penemuan jenis cendawan selulolitik beserta karakternya dan memperluas pemahaman kita tentang keragaman mikroba di lingkungan alami dan untuk mencari jenis cendawan selulolitik yang memiliki potensi sebagai agen biodegradasi. Penemuan ini dapat membantu dalam mengatasi masalah pencemaran lingkungan.

## **1.2. Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah

1. Melakukan isolasi, seleksi, karakterisasi dan identifikasi cendawan selulolitik dari tanah perkebunan tebu di Desa Gunung Waras, Kabupaten Way Kanan.
2. Menganalisis pengaruh variasi pH media pertumbuhan 3, 5, dan 7 terhadap biomassa miselium cendawan selulolitik yang diisolasi dari tanah perkebunan tebu.
3. Menganalisis pengaruh variasi suhu inkubasi 25°C dan 45°C terhadap luas miselium cendawan selulolitik yang diisolasi dari tanah perkebunan tebu
4. Menguji respon hipersensitifitas tanaman terhadap cendawan selulolitik yang didapat.

## **1.3. Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian ini adalah

1. Memberikan informasi mengenai jenis-jenis cendawan selulolitik yang terdapat pada tanah perkebunan tebu di daerah yang diteliti, sehingga dapat dijadikan acuan untuk penelitian selanjutnya.
2. Memberikan informasi tentang pengaruh variasi suhu dan pH terhadap pertumbuhan cendawan selulolitik yang diisolasi, sehingga dapat

membantu dalam mengoptimalkan pertumbuhan cendawan selulolitik dalam aplikasi bioteknologi.

3. Memberikan informasi tentang respon hipersensitifitas tanaman terhadap cendawan selulolitik yang diisolasi, sehingga aman bagi tanaman.

#### **1.4. Hipotesis Penelitian**

Hipotesis penelitian ini adalah

1. Terdapat beragam marga cendawan selulolitik yang memiliki keragaman morfologi dan memiliki indeks selulolitik tinggi.
2. Terdapat perbedaan biomassa miselium cendawan selulolitik yang diuji ketika diberi perlakuan variasi pH pada media pertumbuhan.
3. Cendawan selulolitik yang diuji mampu tumbuh baik pada suhu 25°C dan tidak mampu tumbuh pada suhu 45°C.
4. Isolat cendawan selulolitik yang diuji tidak menyebabkan respon hipersensitifitas tanaman.

#### **1.5. Kerangka Pikir**

Limbah sisa panen tebu di lahan perkebunan tebu menjadi masalah penting dalam pengelolaan limbah. Limbah yang terlalu banyak sulit diuraikan oleh mikroba-mikroba dekomposer pada tanah. Penambahan jumlah mikroba dekomposer pada limbah sisa panen tebu menjadi salah satu alternatif penanganan limbah bahan organik. Bahan-bahan organik merupakan sumber karbon organik bagi mikroba-mikroba dekomposer, karena tersusun atas polimer seperti selulosa, hemiselulosa dan lignin, polimer-polimer tersebut memiliki atom karbon sebagai salah satu komponen penyusunnya.

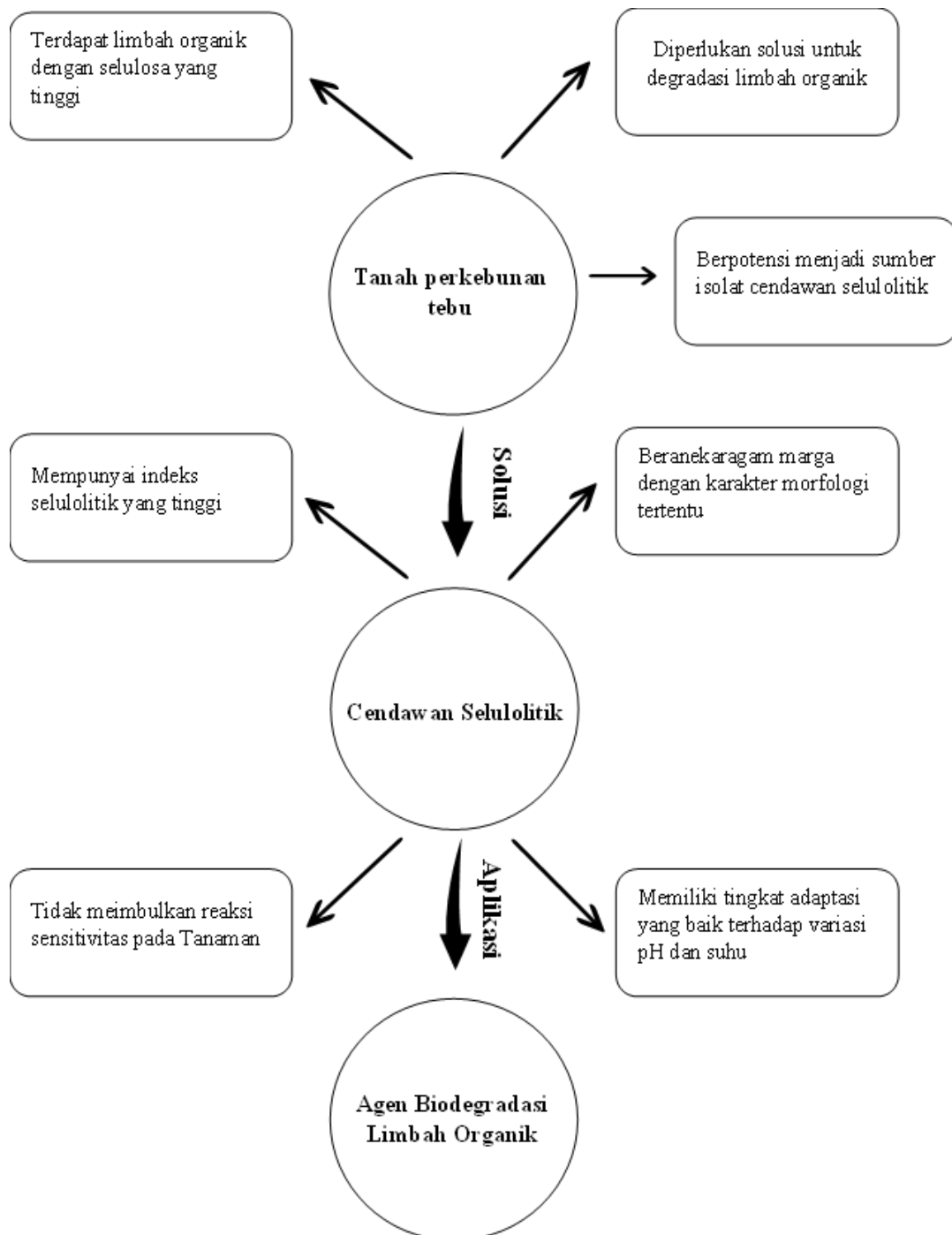
Selulosa menjadi komponen utama yang mempunyai persentase paling tinggi pada dinding sel tanaman dan menjadi salah satu sumber karbon terbesar bagi mikroba-mikroba dekomposer, oleh karena itu penggunaan cendawan selulolitik dinilai efektif dan efisien dalam dekomposisi bahan organik. Cendawan merupakan organisme multiseluler yang membutuhkan energi lebih banyak dibandingkan organisme uniseluler, hal tersebut

menjadikan cendawan mempunyai kemampuan degradasi bahan organik yang lebih baik. Cendawan selulolitik mendegradasi substrat selulosa dengan memanjangkan hifa menuju daerah yang kaya akan substrat sambil mensekresikan enzim selulase, sehingga selulosa terdegradasi menjadi molekul-molekul glukosa dan selanjutnya diserap oleh cendawan dan dimetabolisme menjadi energi.

Tahapan penelitian meliputi isolasi dan seleksi cendawan dari tanah perkebunan tebu, cendawan selulolitik dapat dikenali dengan terbentuknya zona jernih disekitar koloni cendawan pada media CMC agar yang divisualisasi dengan *congo red*. Tahap kedua yaitu melakukan karakterisasi morfologi secara makroskopis dan mikroskopis meliputi warna koloni, bentuk dan ukuran koloni, bentuk sel dan spora, struktur dan warna hifa, data yang diperoleh dari hasil karakterisasi morfologi digunakan untuk melakukan identifikasi marga cendawan selulolitik yang didapat.

Selanjutnya dilakukan uji pengaruh variasi suhu inkubasi dan pH media pertumbuhan terhadap pertumbuhan cendawan, karena cendawan membutuhkan suhu dan pH optimal dalam pertumbuhan dan perkembangannya. Selain itu, juga akan dilakukan uji hipersensitifitas cendawan terhadap tanaman sebagai agen biodegrasi limbah organik, cendawan yang diharapkan adalah cendawan yang tidak bersifat patogen terhadap tanaman sehingga aman diaplikasikan pada lahan pertanian.

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang berhasil mendapatkan isolat cendawan selulolitik, penelitian ini juga diharapkan dapat menemukan beberapa jenis cendawan selulolitik yang mampu mendegradasi limbah organik dan mampu tumbuh pada variasi suhu dan pH tertentu. Hasil dari penelitian ini dapat memberikan informasi penting tentang potensi cendawan selulolitik dalam mengatasi permasalahan limbah organik di perkebunan tebu, serta dapat digunakan sebagai dasar untuk pengembangan metode biodegradasi limbah organik secara lebih efektif dan ramah lingkungan.



**Gambar 1.** Peta Konsep Kerangka Pikir

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Tebu (*Saccharum officinarum* L.)

Tebu adalah rumput tropis tahunan yang tinggi, yang bertunas di pangkalnya untuk menghasilkan batang yang tidak bercabang dengan tinggi 2 hingga 4 m atau lebih, dan berdiameter sekitar 5 cm. Tebu dibudidayakan untuk diambil batang, tangkai, atau tebunya yang tebal, yang kemudian diekstraksi untuk diambil gulanya (James, 2004).

Secara umum, terdapat 6 jenis tebu yang diakui secara ilmiah dalam marga *Saccharum* yaitu *Saccharum officinarum*, *Saccharum sinense*, *Saccharum barberi*, *Saccharum robustum*, *Saccharum edule* dan *Saccharum spontaneum*. Dari keenam jenis tersebut, hanya *Saccharum officinarum* dan *Saccharum spontaneum* yang ditanam secara komersial dan memiliki nilai ekonomi yang signifikan. Jenis tebu yang paling umum dan penting dalam produksi gula adalah *Saccharum officinarum*, sedangkan jenis tebu lainnya memiliki kandungan gula yang lebih rendah dan lebih banyak ditemukan di alam liar (Moore *et al.*, 2014).

Anatomi dan morfologi tebu mendukung kemampuan khusus tanaman untuk mengakumulasi sukrosa dalam jumlah besar. Seperti pada anggota keluarga Poaceae lainnya, bagian tanaman di atas tanah terdiri dari serangkaian ruas dengan daun berbentuk bilah yang melekat, yang dihasilkan oleh meristem vegetatif apikal. Ruas mengandung struktur seluler yang dikhususkan untuk transfer dan penyimpanan sukrosa. Ketika pembungaan diinduksi, pola perkembangan meristem apikal berubah untuk menghasilkan rachis bercabang besar yang membawa banyak kuntum

biseksual. Akar diproduksi baik sebagai akar bibit setelah perkecambahan biji atau sebagai akar adventif yang berasal dari simpul batang (Rae *et al.*, 2014).

Menurut *The World Checklist of Vascular Plants (WCVP)* yang dipublikasikan Govaerts (2022) klasifikasi tanaman tebu sebagai berikut.

Kerajaan	: Plantae
Filum	: Tracheophyta
Kelas	: Liliopsida
Bangsa	: Poales
Suku	: Poaceae
Marga	: <i>Saccharum</i> L.
Jenis	: <i>Saccharum officinarum</i> L.

Serasah tebu merupakan sisa hasil pemanenan tebu meliputi tebu muda, pucuk tebu, daun dan batang tebu (Furqon dan Kusumawati, 2018).

Berdasarkan Kurniawan dan Yuliatun (2008) komposisi kimia dari serasah tebu disajikan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Komposisi Kimia Serasah Tebu

Komposisi kimia serasah tebu	Nilai (%)
Selulosa	38,3
Hemiselulosa	30,06
Lignin	8,88
Abu	3,98

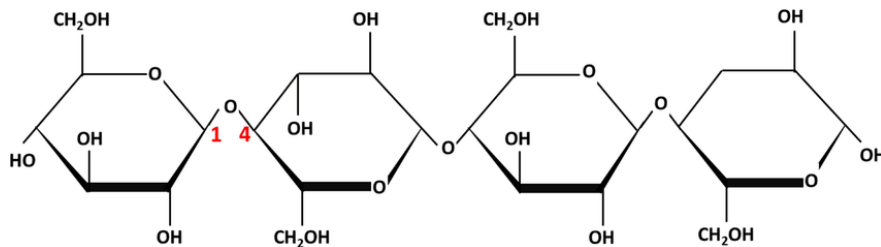
## 2.2. Selulosa

Selulosa adalah senyawa organik yang paling melimpah di bumi, dan merupakan biopolimer yang ada secara alami sebagai komponen struktural dinding sel untuk ganggang dan tumbuhan (Almeida *et al.*, 2014;

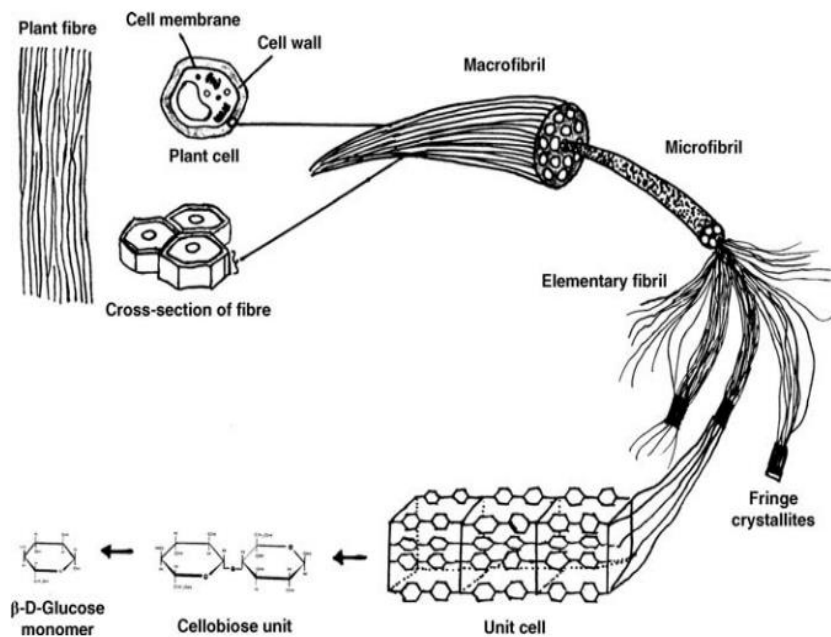


Mbituyimana *et al.*, 2021) dengan hasil tahunan mencapai  $1,5 \times 10^{12}$  ton (Tanpichai *et al.*, 2022).

Makromolekul dalam kayu adalah selulosa, poliosa (hemiselulosa), dan lignin. Ketiga komponen tersebut membentuk struktur dinding sel tanaman. Selulosa adalah polimer linier, hemiselulosa bercabang, dan lignin memiliki struktur ikatan silang (Wüstenberg, 2014). Molekul selulosa terdiri dari rantai panjang  $\beta$ -D-glukosa yang saling terkait melalui ikatan  $\beta$ -1,4-glikosida (Gambar 2). Rantai polisakarida ini membentuk struktur serat yang kuat dan tahan terhadap degradasi oleh enzim pencernaan pada manusia. Oleh karena itu, selulosa sering digunakan dalam industri sebagai bahan baku untuk produksi kertas, tekstil, dan bahan bangunan. Dalam tumbuhan, selulosa terdapat pada dinding sel dan berfungsi sebagai struktur yang memberikan dukungan mekanis pada tumbuhan (Gambar 3). Selain itu, selulosa juga berperan dalam transportasi air dan nutrisi melalui pembuluh tumbuhan (Shahruzzaman *et al.*, 2022; Wüstenberg, 2014).



**Gambar 2.** Struktur Kimia Selulosa (Okolie *et al.*, 2021)



**Gambar 3.** Selulosa Dalam Dinding Sel Tanaman (Wüstenberg, 2014).

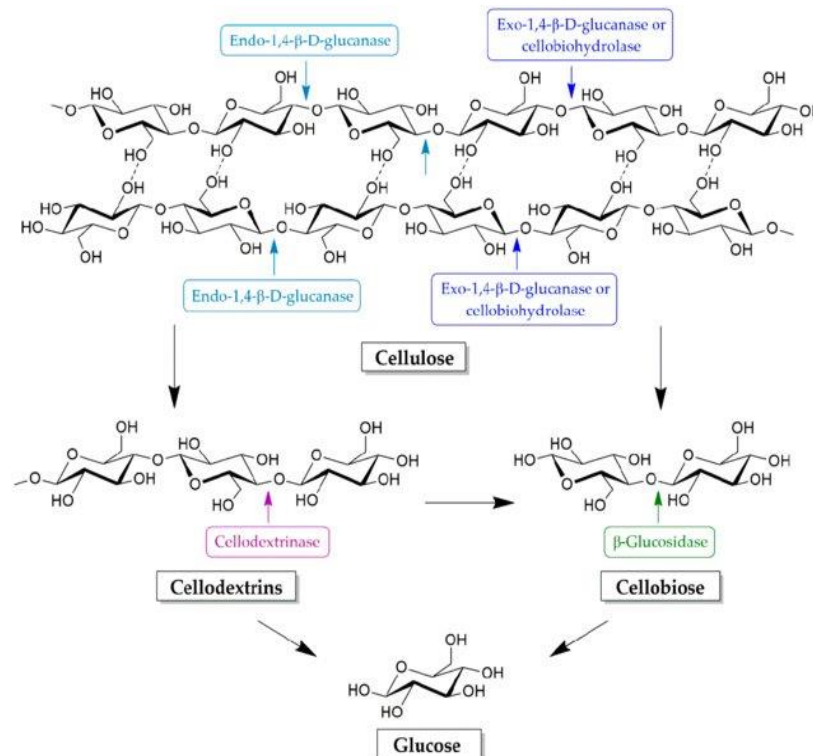
### 2.3. Biodegradasi Selulosa oleh Mikroba

Mikroorganisme selulolitik sebagian besar memanfaatkan karbohidrat untuk energinya tetapi tidak dapat menggunakan protein atau lipid sebagai sumber energi untuk pertumbuhannya (Lynd *et al.*, 2002). Di alam selulosa didegradasi oleh mikroba dari jenis cendawan, bakteri dan aktinomisetes dengan bantuan enzim selulase, selulase terdiri dari endoglukanase dan eksoglukanase termasuk cellobiohydrolases dan  $\beta$ -glukosidase (Jayasekara and Ratnayake, 2019). Organisme selulolitik yang paling sering dipelajari termasuk spesies cendawan: *Trichoderma*, *Humicola*, *Penicillium*, dan *Aspergillus* (Bundela *et al.*, 2009). Selulase mengkatalisis dekomposisi polisakarida selulosa hanya dengan memecah ikatan  $\beta$ -1,4-glikosidik. Berikut adalah mekanisme degradasi selulosa oleh selulase, berdasarkan (Jayasekara and Ratnayake, 2019).

1. Endoglukanase: Enzim ini memotong ikatan  $\beta$ -1,4-glikosida pada bagian dalam rantai selulosa secara acak, umumnya menyerang bagian amorf selulosa, sehingga terbentuk fragmen-fragmen selulosa yang lebih

pendek. Fragmen-fragmen tersebut kemudian dapat dihidrolisis lebih lanjut oleh eksoglukanase atau  $\beta$ -glukosidase.

2. Eksoglukanase: Enzim ini memotong ikatan  $\beta$ -1,4-glikosida pada ujung rantai selulosa, sehingga terbentuk dua fragmen selulosa yang lebih pendek. Eksoglukanase bergerak sepanjang rantai selulosa dan terus memotong hingga mencapai ujung rantai selulosa tersebut.
3.  $\beta$ -Glukosidase: Enzim ini memecah oligosakarida yang lebih panjang menjadi glukosa bebas.  $\beta$ -Glukosidase juga dapat menghidrolisis glukosa dari ujung rantai selulosa yang telah dipotong oleh eksoglukanase.



**Gambar 4.** Mekanisme degradasi selulosa oleh enzim selulase (Kumla *et al.*, 2020)

#### 2.4. Tanah Perkebunan Tebu

Tanah adalah material yang terdiri dari agregat mineral-mineral padat yang tidak tersementasi satu sama lain dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai zat cair juga gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut (Das, 1995).

Tanah dapat dipandang sebagai campuran partikel mineral dan organik dengan berbagai ukuran dan komposisi yang berkaitan dengan pertumbuhan tanaman. Partikel-partikel tersebut menempati sekitar 50% volume tanah. Sisa volume tanah, sekitar 50%, adalah ruang pori, yang terdiri dari pori-pori dengan berbagai bentuk dan ukuran. Ruang pori berisi udara dan air dan berfungsi sebagai saluran untuk pergerakan udara dan air. Ruang pori digunakan sebagai landasan pacu bagi hewan-hewan kecil dan merupakan jalan bagi perpanjangan dan pertumbuhan akar tanaman (Foth, 1990). Selain sebagai tempat pertumbuhan tanaman, sebenarnya tanah merupakan ekosistem kompleks yang menampung bakteri, cendawan, protista, dan hewan (Bonkowski *et al.*, 2009; Müller *et al.*, 2016).

Mikroba tanah seperti bakteri dan cendawan, sebagian dapat memacu pertumbuhan tanaman. Mekanisme mikroba untuk memacu pertumbuhan tanaman antara lain 1) memanipulasi sinyal hormonal tanaman (Verbon and Liberman, 2016). (2) menangkal atau mengalahkan strain mikroba patogen (Mendes *et al.*, 2013); dan (3) meningkatkan bioavailabilitas unsur hara tular tanah (Heijden *et al.*, 2008). Dalam ekosistem alami, sebagian besar unsur hara seperti N, P, dan S terikat dalam molekul organik dan karenanya tersedia secara hayati minimal untuk tanaman. Untuk mengakses unsur hara ini, tanaman bergantung pada pertumbuhan mikroba tanah seperti bakteri dan cendawan, yang memiliki mesin metabolisme untuk mendepolimerisasi dan memineralisasi bentuk organik N, P, dan S. Isi sel mikroba ini kemudian dilepaskan, baik melalui pergantian dan lisis sel, atau melalui pemangsa protozoik (Bonkowski, 2004; Richardson *et al.*, 2009) membebaskan bentuk N, P, dan S anorganik ke dalam tanah, termasuk spesies ionik seperti amonium, nitrat, fosfat, dan sulfat yang merupakan bentuk nutrisi yang disukai tanaman (Heijden *et al.*, 2008). Dalam pengaturan alami, transformasi nutrisi mikroba ini adalah pendorong utama pertumbuhan tanaman, dan kadang-kadang dapat menjadi langkah pembatas laju produktivitas ekosistem (Schimel and Bennett, 2004).

Tanah mendukung biomassa yang sangat besar, dengan perkiraan  $2,6 \times 10^{29}$  sel prokariotik, dan menyimpan banyak keanekaragaman genetik di bumi. Satu gram tanah mengandung berkilo-kilometer hifa cendawan dan lebih dari  $10^9$  sel bakteri, organisme yang termasuk dalam puluhan ribu spesies yang berbeda. Daerah dekat permukaan tanah diperkaya dengan bahan organik yang membusuk dan unsur hara lainnya, sedangkan lapisan tanah bawah miskin unsur hara, larutan tanah di beberapa pori-pori sangat asam, sedangkan yang lain lebih basa, tergantung pada mineralogi tanah dan aktivitas biologis. Suhu dan kandungan air pada tanah permukaan dapat sangat bervariasi dari tanah lapisan bawah dan lingkungan mikro pada permukaan partikel tanah, di mana unsur hara terkonsentrasi dan lapisan air yang bervariasi ketebalannya, sangat berbeda dengan tanah lapisan bawah (Paul, 2007).

Lahan perkebunan tebu berada pada lahan kering marjinal dan sebagian pada lahan rawa. Kondisi kimia tanah dan keragaman mikroba pada lahan perkebunan tebu berbeda-beda. Tabel 2 menunjukkan keragaman kondisi kimia tanah dan mikroba pada lahan perkebunan tebu dari beberapa lokasi.

**Tabel 2.** Keragaman sifat kimia dan mikroba tanah perkebunan tebu

Lokasi	pH	Bahan Organik	C Total	N Total	Mikroba	Sumber
Kecamatan Semboro, Kabupaten Jember, Jawa Timur	<5,5	<2%	Tidak dijelaskan	Tidak dijelaskan	Tidak dijelaskan	(Basuki dan Winarso, 2021)
Pabrik gula Djatiroto, Kecamatan Djatiroto, Lumajang, Jawa Timur	5,5-7,5	<2%	Tidak dijelaskan	Tidak dijelaskan	Tidak dijelaskan	(Basuki dkk., 2016)
Desa Pabedilan, Kecamatan	5,78	Tidak dijelaskan	2,47%	0,14%	Tidak dijelaskan	(Jaenudin, 2017)

Pabedilan,  
Cirebon Jawa  
Barat

Kecamatan Cangkringan, Sleman, Yogyakarta	6,75-6,8	Tidak dijelaskan	1,7-2,2%	0,29- 0,54%	Tidak dijelaskan	(Kusumawati dan Putratama, 2023)
PT Perkebunan Nusantara X (Persero), Kediri, Jawa Timur	Tidak dijelaskan	Tidak dijelaskan	Tidak dijelaskan	Tidak dijelaskan	<i>Aspergillus</i> sp. dan <i>Trichoderma</i> sp.	(Nugraha, 2012)
Desa Cemorokandang, Kecamatan Kedungkandang, Kota Malang, Jawa Timur	Tidak dijelaskan	Tidak dijelaskan	Tidak dijelaskan	Tidak dijelaskan	<i>Trichoderma</i> <i>harzianum</i> , <i>Penicillium</i> <i>nalgiovense</i> , <i>Penicillium</i> <i>funiculosum</i> , <i>Penicillium</i> <i>corylophyllum</i> , <i>Aspergillus</i> <i>ochraceus</i> , <i>Penicillium</i> <i>camemberti</i> <i>Penicillium</i> <i>citrinum</i>	(Nadhifah dkk., 2023)
Desa Wonokerso, Kecamatan Pakisaji Kabupaten Malang, Jawa Timur	Tidak dijelaskan	Tidak dijelaskan	Tidak dijelaskan	Tidak dijelaskan	<i>Aspergillus</i> sp., <i>Trichoderma</i> sp., <i>Bauveria</i> sp. dan <i>Metharizium</i> sp.	(Agastya dkk., 2018)

---

## 2.5. Fungi

Menurut Deacon (2007) jamur sejati dari kerajaan fungi (Mycota) memiliki karakteristik unik yang membedakan cendawan dengan organisme lain.

Karakteristik tersebut sebagai berikut.

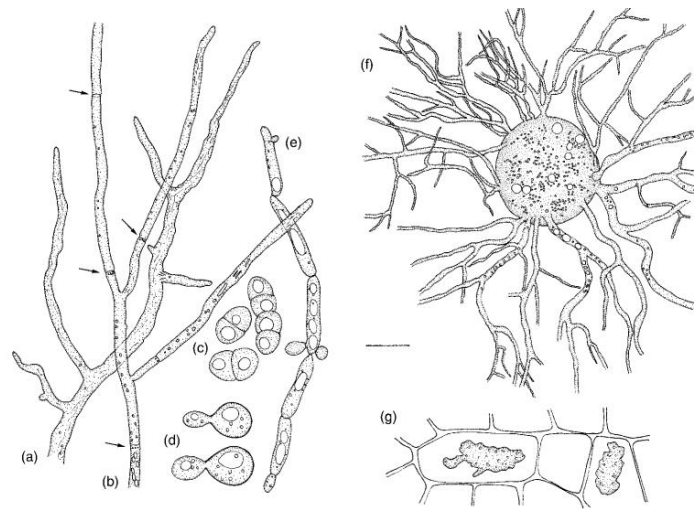
1. Semua jamur adalah eukariotik yang memiliki inti yang terikat membran yang mengandung beberapa kromosom, dan mereka memiliki berbagai organel sitoplasma yang terikat membran (mitokondria, vakuola, dll.). Karakteristik lain yang dimiliki oleh semua eukariota meliputi: aliran sitoplasma, DNA yang mengandung daerah non-kode yang disebut intron, membran yang biasanya mengandung sterol, dan ribosom tipe 80S yang berbeda dengan ribosom 70S pada bakteri.
2. Jamur biasanya tumbuh sebagai filamen, yang disebut hifa, yang memanjang hanya pada ujungnya (pertumbuhan apikal). Hifa bercabang banyak di belakang ujungnya, sehingga membentuk jaringan yang disebut miselium. Namun, beberapa jamur tumbuh sebagai ragi bersel tunggal (misalnya *Saccharomyces cerevisiae*) yang berkembang biak dengan cara bertunas, dan beberapa lainnya dapat berganti-ganti antara fase ragi dan fase hifa sebagai respons terhadap kondisi lingkungan (cendawan dimorfik).
3. Fungi merupakan organisme heterotrof (kemo-organotrof). Dengan kata lain, mereka membutuhkan senyawa organik yang telah terbentuk sebelumnya sebagai sumber energi dan juga sebagai kerangka karbon untuk sintesis sel. Dinding sel mencegah fungi menelan makanan dengan cara fagositosis, sehingga fungi menyerap nutrisi yang sederhana dan mudah larut melalui dinding dan membran sel. Dalam banyak kasus, hal ini dilakukan dengan mengeluarkan enzim pada ujung hifa untuk mendegradasi polimer kompleks dan kemudian menyerap nutrisi sederhana yang mudah larut yang dilepaskan oleh enzim depolimerase (pengurai polimer).

4. Fungi memiliki berbagai komponen dinding yang khas, yang biasanya meliputi kitin dan glukukan (polimer glukosa dengan ikatan  $\beta$ -1,3 dan  $\beta$ -1,6). Selulosa yang pendek (polimer glukosa dengan ikatan  $\beta$ -1,4) telah terdeteksi pada beberapa dinding fungi, terutama pada beberapa fungi primitif. Namun fungi berbeda dengan tanaman karena tidak memiliki dinding sel yang kaya selulosa.
5. Fungi memiliki berbagai karakteristik karbohidrat larut dan senyawa penyimpanan, termasuk manitol dan gula alkohol lainnya, trehalosa (disakarida glukosa), dan glikogen.
6. Fungi biasanya memiliki inti haploid. Namun, hifa cendawan sering kali memiliki beberapa inti di dalam setiap kompartemen hifa, dan banyak ragi yang sedang bertunas adalah diploid.
7. Fungi berkembang biak dengan cara seksual dan aseksual, dan biasanya menghasilkan spora. Spora fungi sangat bervariasi dalam bentuk, ukuran, dan sifat-sifat lainnya, yang berkaitan dengan berbagai perannya dalam penyebaran atau kelangsungan hidup yang tidak aktif.

Oomycota dan Zygomycota umumnya memiliki hifa aseptat di mana nukleusnya terletak di dalam massa sitoplasma yang sama (Gambar 5a). Kondisi seperti ini digambarkan sebagai *coenocytic* (*koinos* = dibagi, secara umum; *kytos* = bejana berongga, di sini berarti sel). Sebaliknya, Asco- dan Basidiomycota dan kondisi aseksual yang terkait umumnya memiliki hifa septat (Gambar 5b) di mana setiap segmen mengandung satu, dua atau lebih inti. Jika nukleusnya identik secara genetik, seperti pada miselium yang berasal dari spora tunggal yang tidak berinti, miselium tersebut dikatakan homokariotik, tetapi jika sel atau miselium mengandung nukleus dengan genotipe yang berbeda, misalnya sebagai hasil fusi (anastomosis) hifa yang berbeda secara genetik, miselium tersebut dikatakan heterokariotik. Kondisi khusus ditemukan pada miselium Basidiomycota di mana setiap sel mengandung dua inti yang berbeda secara genetik yang disebut dikariotik, untuk membedakannya dari miselia yang monokariotik. Septa biasanya



berlubang dan memungkinkan pertukaran sitoplasma atau organel (Webster and Weber, 2007).



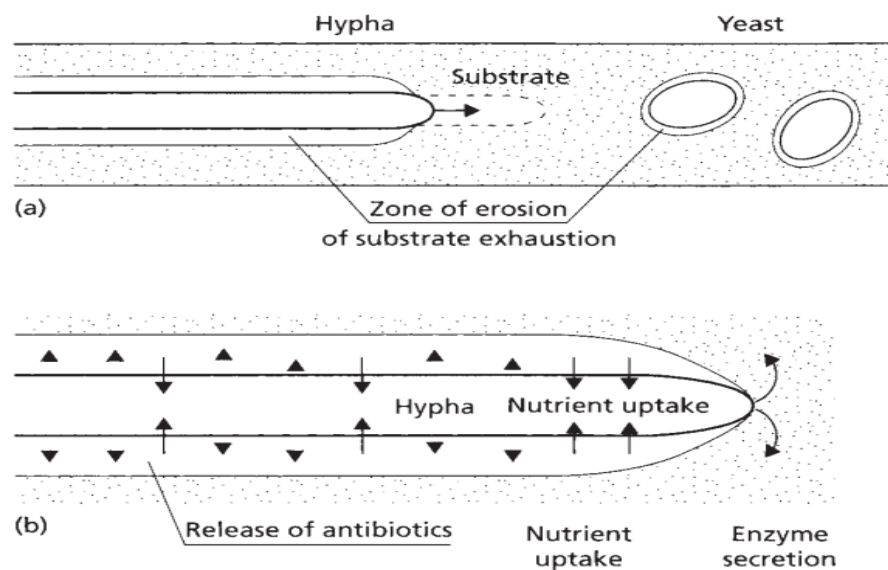
**Gambar 5.** Berbagai bentuk pertumbuhan cendawan

- a. Hifa aseptat dari *Mucor mucedo* (Zygomycota), hifa bercabang membentuk miselium.
- b. Hifa bercabang septat dari *Trichoderma viride* (Ascomycota). Septa ditunjukkan oleh panah.
- c. Sel-sel ragi dari *Schizosaccharomyces pombe* (Ascomycota) membelah dengan pembelahan biner.
- d. Sel-sel ragi *Dioszegia takashimae* (Basidiomycota) membelah dengan pertunasan.
- e. Pseudohifa *Candida parapsilosis* (Ascomycota), yang dianggap sebagai tahap peralihan antara sel ragi dan hifa sejati.
- f. Talus *Rhizophlyctis rosea* (Chytridiomycota) dari sistem rizoid bercabang memanjang ke dalam substrat.
- g. Plasmodia dari *Plasmodiophora brassicae* (Plasmodiophoromycota) di dalam sel akar kubis. Batang skala = 20 mm (a, b, f, g) atau 10 mm (c-e). (Weber dan Webster, 2007).

Beberapa strategi cendawan untuk tumbuh pada polimer yang tidak larut berdasarkan (Deacon, 2007) sebagai berikut.

- a. Hifa memanjang terus menerus di bagian ujung, menarik protoplasma ke depan untuk menghindari zona erosi enzim pada substrat. Ragi tidak menggunakan polimer yang tidak larut (nondiffusible) karena mereka akan terperangkap dalam zona erosi substrat mereka sendiri. (Gambar 6a)

- b. Cendawan pengurai polimer melakukan pertahanan pada substrat. Enzim disekresikan di ujung hifa untuk mendegradasi polimer, dan nutrisi terlarut yang dilepaskan diserap pada bagian subapikal. Antibiotik atau penghambat lainnya (ditunjukkan sebagai panah) dapat dilepaskan oleh bagian subapikal ke dalam zona erosi substrat untuk mencegah organisme pesaing memanfaatkan produk hasil degradasi enzim. (Gambar 6b)



**Gambar 6.** Strategi pertumbuhan cendawan pada polimer tak larut (Deacon, 2007)

Lebih lanjut Deacon (2007) membagi sifat cendawan berdasarkan cara mendapatkan nutrisi sebagai berikut.

- a. Sebagai parasit atau patogen terhadap organisme lain. Parasit diartikan sebagai organisme yang mendapatkan semua atau sebagian kebutuhan nutrisinya dari jaringan hidup organisme lain atau inang, parasit menggambarkan hubungan nutrisi. Patogen diartikan sebagai organisme yang menyebabkan penyakit, dan umumnya juga bersifat parasit, namun parasit tidak selalu menyebabkan penyakit yang serius. Berdasarkan Sumarsih (2003) parasit dibagi menjadi dua jenis yaitu:

➤ Parasit obligat

Parasit obligat merupakan sifat cendawan yang tidak dapat hidup di luar inangnya, sehingga hanya mampu hidup pada inangnya.

➤ Parasit fakultatif

Parasit fakultatif merupakan sifat cendawan ketika mendapatkan inang yang sesuai maka cendawan tersebut bersifat parasit, sedangkan jika inangnya tidak sesuai maka cendawan tersebut bersifat saprofit

b. Saprofit

Saprofit adalah cendawan yang tumbuh pada material yang tak hidup. Cendawan saprofit merupakan cendawan pelapuk dan mampu mengubah bahan organik yang telah mati seperti kayu tumbang dan buah yang jatuh. Cendawan saprofit mensekresikan enzim hidrolase untuk mendegradasi substrat berupa molekul kompleks menjadi molekul sederhana sehingga mudah diserap oleh hifa, sedangkan molekul sederhana yang dikeluarkan oleh inangnya dapat langsung diserap melalui hifa (Sumarsih, 2003).

c. Simbion

Cendawan terlibat dalam berbagai asosiasi simbiosis yang intim dengan organisme lain. Dalam beberapa kasus, cendawan dan pasangannya menjadi sangat bergantung satu sama lain sehingga mereka kehilangan kemampuan untuk hidup sendiri. Hubungan timbal balik dilakukan cendawan dengan menyerap makanan dari organisme lain dan menghasilkan zat tertentu yang bermanfaat bagi simbiannya.

Beberapa faktor lingkungan yang dapat berpengaruh pada pertumbuhan cendawan berdasarkan Irawan (2021) sebagai berikut:

a. Konsentrasi ion H/pH

Permeabilitas membran dan kemampuan disosiasi molekul menjadi ion-ion dipengaruhi oleh pH, berdasarkan kemampuan untuk tumbuh pada pH tertentu cendawan dapat dikelompokkan menjadi

- Asidofilik yaitu cendawan yang tumbuh optimum pada pH 3
- Asidotoleran yaitu cendawan yang mampu tumbuh pada pH mendekati 2, akan tetapi tumbuh optimum pada kisaran pH 5,5-6.
- Basiotoleran yaitu cendawan yang tumbuh pada kisaran pH 10-11.
- Basiofilik yaitu cendawan yang tumbuh pada pH lebih dari 11, cendawan tersebut belum pernah ditemukan.

b. Temperatur

Cendawan mampu hidup pada rentang suhu tertentu, berdasarkan kemampuan hidup pada rentang suhu tertentu cendawan dikelompokkan menjadi tiga yaitu:

- Cendawan psikrofilik yaitu cendawan yang mampu tumbuh pada suhu minimum 0-5°C dan maksimum pada suhu 20°C, serta tumbuh optimal pada suhu 10-15°C.
- Cendawan psikotoleran yaitu cendawan yang mampu tumbuh pada suhu minimum 0-5°C dan maksimum pada suhu >20°C serta tumbuh optimal pada suhu 10-15°C.
- Cendawan mesofilik yaitu cendawan yang mampu tumbuh pada suhu minimum 10°C dan maksimum pada suhu 40°C, serta tumbuh optimal pada suhu 25-35°C.
- Cendawan termotoleran yaitu cendawan yang mampu tumbuh pada suhu minimum <20°C dan maksimum pada suhu 55°C, serta tumbuh optimal pada suhu 30-40°C.

- Cendawan termofilik yaitu cendawan yang mampu tumbuh pada suhu minimum 20°C dan maksimum pada suhu 55°C, serta tumbuh optimal pada suhu 40 °C

c. Aerasi

Cendawan pada umumnya bersifat aerob. Pembagian kelompok cendawan berdasarkan kebutuhannya akan oksigen sebagai berikut.

- Aerob obligat yaitu cendawan yang membutuhkan oksigen dalam proses pertumbuhan.
- Aerob fakultatif yaitu cendawan yang mampu tumbuh pada kondisi aerob maupun anaerob dengan melakukan fermentasi gula.
- Fermentasi obligat yaitu cendawan yang tidak memiliki sitokrom dan mitokondria, sehingga metabolismenya hanya dilakukan melalui fermentasi walaupun tumbuh di lingkungan dengan kondisi ada ataupun tidak ada oksigen.
- Anaerob obligat yaitu cendawan yang mati bila terpapar oksigen.

d. Air

Fungsi air dalam pertumbuhan cendawan antara lain untuk keperluan difusi nutrien ke dalam sel, melepas enzim ekstraseluler dan memelihara sitoplasma.

e. Cahaya

Cahaya dapat mempengaruhi pertumbuhan dan sporulasi cendawan, cahaya tampak dapat menyebabkan penghambatan pertumbuhan dan meningkatkan percabangan, radiasi UV dapat menyebabkan mutasi, melanisasi spora dapat mencegah radiasi UV, pada proses sporulasi sebagian besar cendawan tidak terpengaruh cahaya, namun beberapa cendawan bereaksi terhadap UV.

### **III. METODE PENELITIAN**

#### **3.1. Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari sampai dengan Maret 2023. Pengambilan sampel tanah dilakukan di perkebunan tebu Desa Gunung Waras, Kabupaten Way Kanan. Isolasi, karakterisasi, identifikasi, uji pengaruh pH dan suhu serta uji hipersensitifitas cendawan selulolitik terhadap tanaman dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung, Kota Bandarlampung.

#### **3.2. Alat dan Bahan Penelitian**

##### **1. Alat**

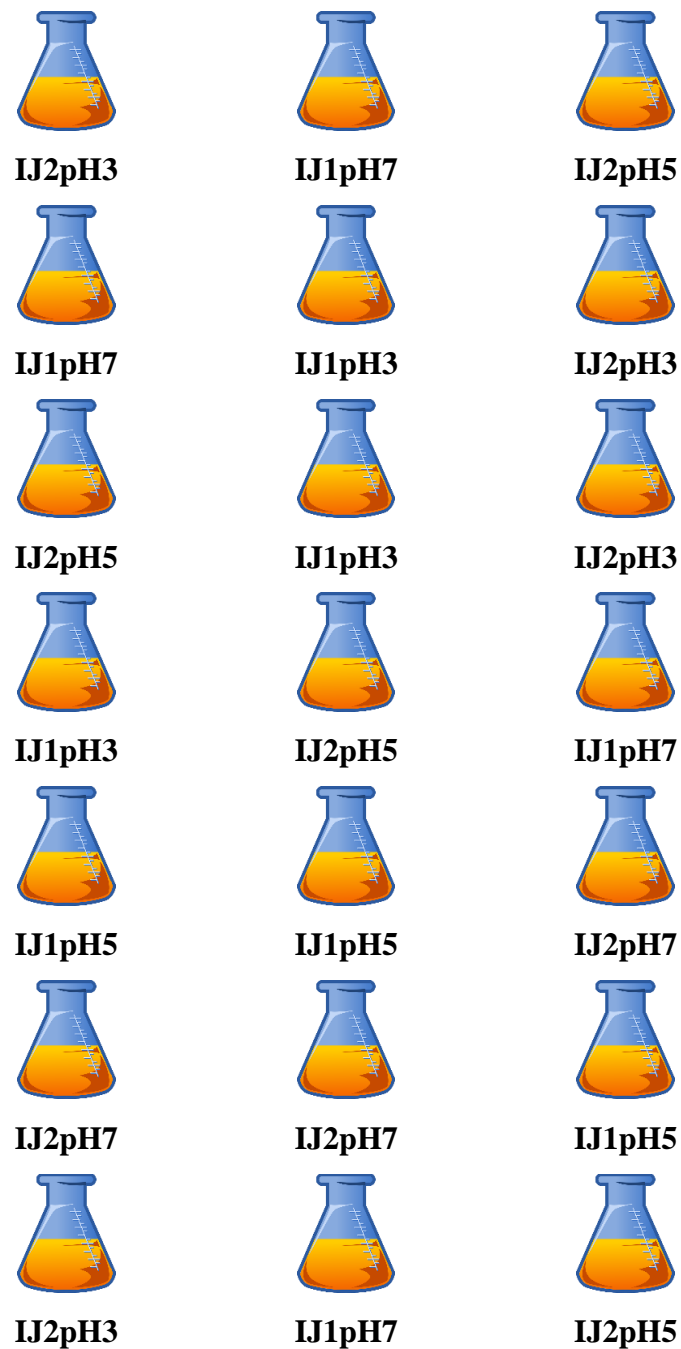
Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain, gelas piala, labu Erlenmeyer, tabung reaksi, gelas ukur, corong kaca, cawan Petri, mortar dan pastel, ose, bunsen, pisau, plastik *wrap*, oven, neraca analitik, autoklaf, mikroskop, *laminar air flow*, alumunium foil, tisu, kertas saring inkubator dengan *shaker*, pH meter, *vortex*, mikropipet dan mikrotip.

##### **2. Bahan**

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain sampel tanah, tanaman tembakau, tanaman tebu, alkohol 70%, *congo red*, air suling, CMC,  $MgSO_4$ ,  $KNO_3$ ,  $K_2HPOH$ ,  $CaCl_2$ , *yeast extract*, agar, NaCl, HCl, NaOH dan spiritus.

### 3.3. Rancangan Penelitian

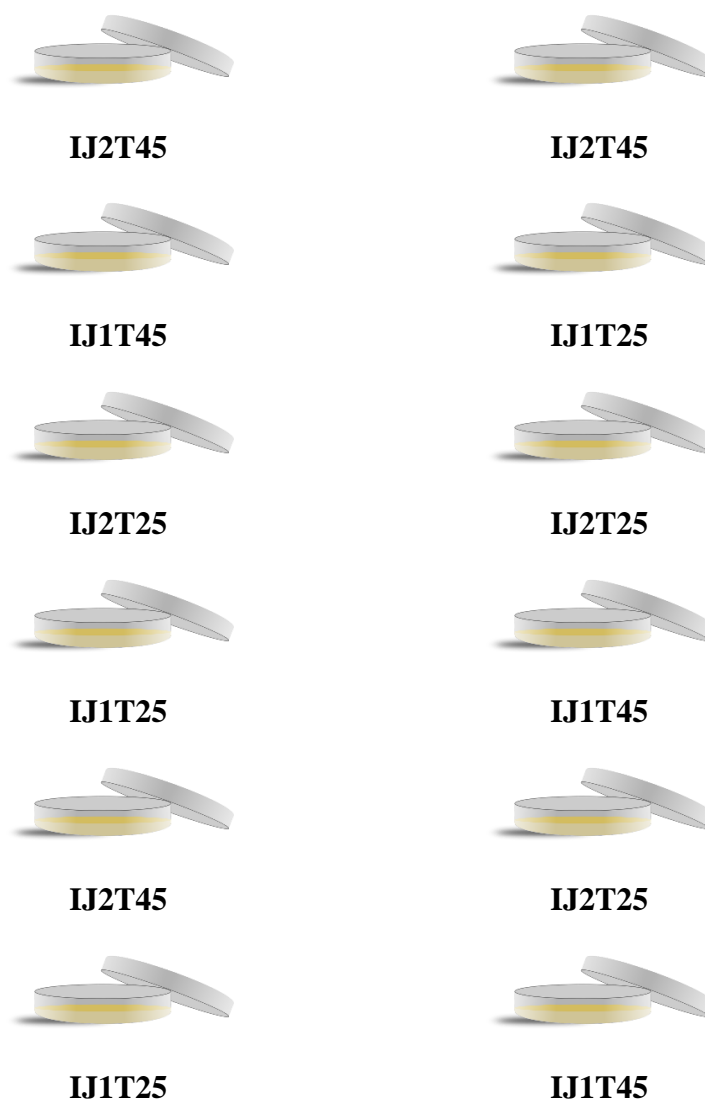
Penelitian ini diawali dengan pengambilan sampel tanah perkebunan tebu dari Desa Gunung Waras, Kabupaten Way Kanan. Sampel tanah kemudian dikultur di media CMC agar untuk menumbuhkan koloni cendawan, kemudian koloni yang tumbuh dilakukan isolasi. Isolat yang diperoleh kemudian dilakukan seleksi pada media agar CMC dan divisualisasi dengan pewarna *congo red* (1 mg/mL) dan dibilas dengan NaCl 1 M. Cendawan selulolitik yang didapat dilakukan karakterisasi secara makroskopis dan mikroskopis melalui teknik *slide culture* serta dilakukan identifikasi pada tingkatan marga. Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif. Tahap kedua dilakukan uji pengaruh pH dengan menguji pengaruh variasi pH media pertumbuhan yaitu 3, 5 dan 7 terhadap pertumbuhan biomassa isolat cendawan selulolitik dengan menggunakan metode Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 3 kali ulangan sehingga diperoleh 18 satuan penelitian (Gambar 7). Tahap ketiga dilakukan uji pengaruh suhu inkubasi yaitu 25°C dan 45°C terhadap luas miselium isolat cendawan selulolitik dengan menggunakan metode Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 3 kali ulangan sehingga diperoleh 12 satuan penelitian (Gambar 8). Analisis data indeks selulolitik dilakukan dengan membandingkan rata-rata indeks selulolitik yang terbentuk, pada uji pengaruh suhu inkubasi dilakukan perbandingan rerata luas miselium cendawan yang tumbuh, pada uji pengaruh pH media pertumbuhan dianalisis menggunakan analisis ragam (ANARA) faktorial dua lajur pada taraf  $\alpha$  0,05 dan kemudian dilanjutkan dengan uji jarak berganda Duncan bila perlakuan berpengaruh nyata, analisis ANARA dilakukan dengan menggunakan program IBM SPSS Statistics versi 24, dan pada uji hipersensitifitas isolat cendawan selulolitik dianalisis secara deskriptif.



**Gambar 7.** Denah Rancangan Acak Lengkap Uji Variasi pH Media Pertumbuhan terhadap Biomassa Cendawan

Keterangan: IJ1pH3: Isolat *Cunninghamella* sp. pada media dengan nilai pH 3  
 IJ1pH5: Isolat *Cunninghamella* sp. pada media dengan nilai pH 5  
 IJ1pH7: Isolat *Cunninghamella* sp. pada media dengan nilai pH 7  
 IJ2pH3: Isolat *Trichoderma* sp. pada media dengan nilai pH 3  
 IJ2pH5: Isolat *Trichoderma* sp. pada media dengan nilai pH 5  
 IJ2pH7: Isolat *Trichoderma* sp. pada media dengan nilai pH 7





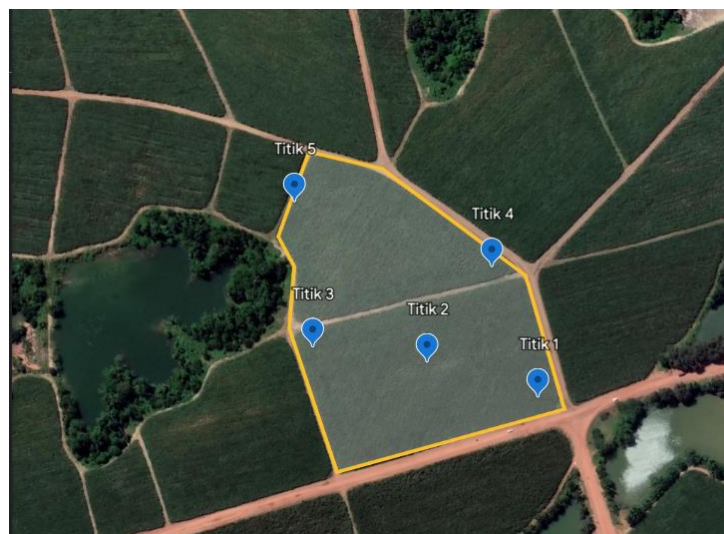
**Gambar 8.** Denah Rancangan Acak Lengkap pada Uji Variasi Suhu Inkubasi terhadap Luas Miselium

Keterangan: IJ1T25: Isolat *Cunninghamella* sp. pada suhu inkubasi 25°C  
 IJ1T45: Isolat *Cunninghamella* sp. pada suhu inkubasi 45°C  
 IJ2T25: Isolat *Trichoderma* sp. pada suhu inkubasi 25°C  
 IJ2T45: Isolat *Trichoderma* sp. pada suhu inkubasi 45°C

### 3.4. Prosedur Kerja

#### 3.4.1. Pengambilan Sampel

Sampel diambil secara acak sebanyak 5 titik pada lahan perkebunan tebu seluas 92 ha di Desa Gunung Waras, Kabupaten Way Kanan pada kedalaman 0-30 cm kemudian dikompositkan.



**Gambar 9.** Lokasi Pengambilan Sampel Tanah

Keterangan: Titik 1: Koordinat 4°15'35"S 104°44'56"E  
Titik 2: Koordinat 4°15'37"S 104°44'59"E  
Titik 3: Koordinat 4°15'38"S 104°45'02"E  
Titik 4: Koordinat 4°15'39"S 104°44'56"E  
Titik 5: Koordinat 4°15'43"S 104°45'01"E

#### 3.4.2. Isolasi Cendawan

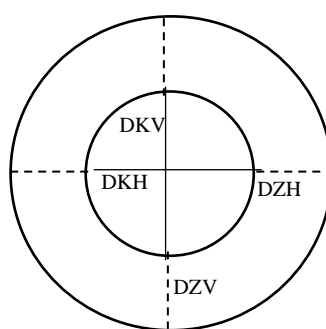
Sampel tanah diambil sebanyak 5 g dimasukkan dalam Erlenmeyer yang berisi 45 mL larutan NaCl fisiologis (0,9 %) steril sebagai seri pengenceran  $10^{-1}$ , kemudian dilakukan pengenceran bertingkat sampai  $10^{-3}$ , dengan cara mengambil 1 mL dari seri pengenceran sebelumnya lalu diencerkan dengan 9 mL NaCl fisiologis (0,9 %) steril. Setiap

pengenceran dilakukan *pour plate* ke dalam media agar *Carboxy Methyl Cellulose* (CMC) (1 g CMC, 0,04 g MgSO<sub>4</sub>, 0,15 g KNO<sub>3</sub>, 0,1 g K<sub>2</sub>HPOH, 0,004 g CaCl<sub>2</sub> 0,4 g ekstrak ragi, 3 g agar, dan 100 mL akuades) kemudian dinkubasi pada suhu ruang selama 3 hari. Koloni yang diperoleh masing-masing dikultur berkali-kali pada media agar CMC hingga mendapat koloni murni.

### 3.4.3. Penapisan Cendawan Selulolitik

Isolat murni yang diperoleh diuji kemampuannya dalam menghasilkan enzim selulase untuk mendegradasi selulosa. Masing-masing isolat diinokulasikan pada media agar CMC. Kultur diinkubasi selama 2 hari pada suhu ruang. Visualisasi zona jernih dilakukan dengan menuangkan *congo red* (1 mg/mL) pada kultur cendawan dan didiamkan selama 15 menit, kemudian dicuci dengan NaCl 1 M. Indeks zona jernih diukur dengan menghitung rasio antara diameter zona jernih dengan diameter koloni (Gambar 10). Indeks selulolitik diukur mengikuti rumus berikut (Sumardi dkk., 2018):

$$\text{Indeks Selulolitik} = \frac{\text{Diameter zona bening (mm)} - \text{Diameter koloni (mm)}}{\text{Diameter koloni (mm)}}$$



**Gambar 10.** Ilustrasi Diameter Koloni Jamur dan Zona Jernih

Keterangan: DKH: Diameter koloni jamur secara horizontal  
 DKV: Diameter koloni jamur secara Vertikal  
 DZH: Diameter zona jernih secara horizontal  
 DZV: Diameter zona jernih secara vertikal

#### 3.4.4. Identifikasi Isolat Cendawan Selulolitik

Identifikasi isolat cendawan selulolitik dilakukan secara makroskopis dan mikroskopis. Pengamatan secara makroskopis meliputi morfologi dan warna miselium cendawan yang telah diinkubasi selama 5 hari, sedangkan pengamatan secara mikroskopis meliputi bagian-bagian cendawan (bentuk-bentuk sel reproduksi, bentuk dan warna hifa) dengan teknik *slide culture*. *Moist Chamber* dibuat dengan meletakkan tangkai gelas dalam cawan Petri berbentuk huruf V di atas kertas saring lembab. Potongan media agar berukuran 1 cm<sup>2</sup> diletakkan di atas gelas benda (*slide*) yang disterilkan dengan api Bunsen kemudian diletakkan dalam cawan *Moist Chamber*. Bagian tepi media kemudian diinokulasikan dengan isolat cendawan selulolitik lalu ditutup dengan gelas penutup steril dan diinkubasi selama 5 hari. Pengamatan mikroskopis dilakukan dengan membuang agarnya dan dilakukan *mounting*. Hasil karakterisasi secara makroskopis dan mikroskopis kemudian diidentifikasi berdasarkan buku acuan berjudul *Illustrated Genera of Imperfect Fungi* (Barnett and Hunter, 1998), *Pictorial Atlas of Soil and Seed Fungi: Morphologies of Cultured Fungi and Key to Species, Third Edition* (Watanabe, 2010) dan *Fungi and Food Spoilage* (Pitt and Hocking, 2009).

#### 3.4.5. Uji Pengaruh Variasi pH Media terhadap Biomassa Miselium

Uji pengaruh variasi pH media terhadap biomassa miselium jamur menggunakan metode Hakim dkk. (2020) yang dimodifikasi. Koloni isolat cendawan selulolitik dipotong dalam *laminar air flow* menggunakan *corkborer* Ø 8 mm. Satu potong koloni (Ø 8 mm) ditanam pada 20 mL media CMC *Broth* dengan tiga tingkatan pH, yaitu: pH 3, pH 5 dan pH 7. pH media dimodifikasi dengan menambahkan 1 M HCl untuk menaurunkan pH atau 1 M NaOH untuk menaikkan pH. Jamur yang dikultur kemudian diinkubasi selama 7

hari pada *rotary shaker* dengan kecepatan 115 rpm, dengan 3 kali ulangan. Setelah 7 hari inkubasi, cendawan yang dikultur dihitung bobot kering miseliana. Biakan cendawan dipisahkan antara media CMC *Broth* dengan miseliana. Pemisahan ini dilakukan dengan menyaring miselia dari media tumbuhnya dengan kertas saring yang telah diketahui berat keringnya (dioven 24 jam pada suhu 60°C). Miselia pada kertas saring kemudian dioven selama 24 jam pada suhu 60°C, sehingga akan didapatkan bobot kering miselia dan kertas saring (Achmad dkk., 2013). Bobot kering miselia didapatkan dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Bobot kering miselia} = (\text{Bobot kering kertas saring} + \text{Bobot kering miselia}) - \text{Bobot kering kertas saring}$$

#### **3.4.6. Uji Pengaruh Variasi Suhu Inkubasi terhadap Luas Miselium**

Uji pengaruh variasi suhu inkubasi terhadap luas miselium jamur menggunakan metode Achmad dkk. (2013) yang telah dimodifikasi. Koloni isolat cendawan selulolitik diinokulasikan dengan metode titik pada media CMC agar dan diinkubasi selama 3 hari pada suhu 25°C dan 45°C, setelah itu diukur luas koloni yang tumbuh dengan metode gravimetri. Duplikasi miselium cendawan digambar di atas plastik mika transparan, selanjutnya dipotong dan massanya ditimbang. Rasio antara massa duplikasi miselium (pada plastik mika) dengan massa plastik mika yang digunakan sebagai pembanding, kemudian dikalikan dengan luas plastik mika yang telah diketahui massanya sebagai pembanding. Rumus mencari luas miselium dengan metode gravimetri sebagai berikut:

$$\text{Luas Miselium} = \frac{\text{Massa duplikasi miselium}}{\text{Massa lembaran plastik}} \times \text{Luas plastik}$$

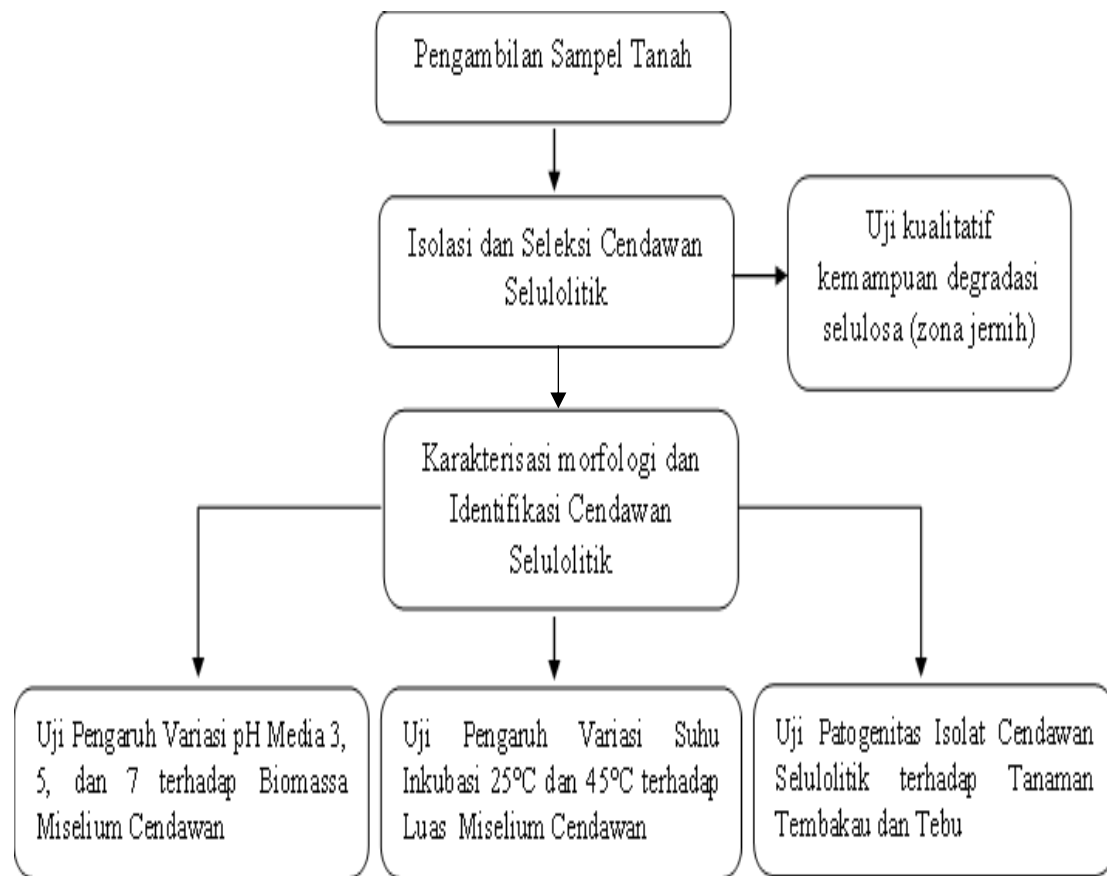
### **3.4.7. Uji Hipersensitifitas Tanaman terhadap Isolat Cendawan Selulolitik**

Uji hipersensitifitas tanaman terhadap isolat cendawan selulolitik mengikuti metode Rahmad (2021) yang dimodifikasi. Daun tanaman tembakau dan tanaman tebu yang berusia sekitar 30 hari ditusuk-tusuk dengan jarum steril. Isolat cendawan pada media padat dipotong seukuran  $1 \times 1 \text{ cm}^2$  dan ditempelkan pada daun yang telah ditusuk-tusuk, kemudian direkatkan dengan lakban dan diinkubasi selama 7 hari. Setelah 7 hari diamati gejala yang timbul, jika terdapat bercak atau menguning mengindikasikan bahwa tanaman menunjukkan reaksi hipersensitifitas terhadap cendawan yang diuji.

### **3.5. Analisis Data**

Data yang diperoleh dari isolasi, seleksi, karakterisasi, identifikasi dan uji hipersensitifitas cendawan terhadap tanaman dianalisis secara deskriptif. Analisis data indeks selulolitik menggunakan perbandingan rata-rata indeks selulolitik, pengaruh suhu dianalisis dengan perbandingan rata-rata luas miselium yang terbentuk, pengaruh pH dianalisis dengan uji variansi biomassa miselium cendawan menggunakan analisis ragam (ANARA) faktorial dua lajur pada taraf  $\alpha 0,05$  dan kemudian dilanjutkan dengan uji jarak berganda Duncan bila perlakuan berpengaruh nyata, analisis dilakukan dengan menggunakan program IBM SPSS Statistics versi 24.

### 3.6. Bagan Alir Penelitian



**Gambar 11.** Bagan Alir Penelitian

## V. SIMPULAN

### 5.1. Simpulan

Dari hasil penelitian disimpulkan bahwa:

1. Diperoleh 2 isolat cendawan yang mempunyai kemampuan degradasi selulosa yaitu *Cunninghamella* sp. dan *Trichoderma* sp. dengan indeks selulolitik tertinggi pada cendawan *Cunninghamella* sp. yaitu 0,754 dan terendah *Trichoderma* sp. yaitu 0,403.
2. Cendawan *Cunninghamella* sp. dan *Trichoderma* sp. yang didapat toleran terhadap beberapa variasi pH dan tidak ada perbedaan rerata biomassa miselium pada pH 3, 5 dan 7.
3. Cendawan *Cunninghamella* sp. dan *Trichoderma* sp. tumbuh baik pada suhu 25°C, namun tidak mampu tumbuh pada suhu 45°C.
4. Cendawan *Cunninghamella* sp. dan *Trichoderma* sp. mampu merangsang respon hipersensitifias tanaman uji yaitu tembakau dan tebu.

### 5.2. Saran

Perlu adanya identifikasi dengan berbasis molekuler untuk mendapatkan hasil identifikasi cendawan yang lebih akurat, perlu menambah rentang pH media dan jumlah ulangan untuk mengetahui batas toleransi dan pH optimal untuk pertumbuhan kedua isolat cendawan tersebut, perlu menambah rentang suhu inkubasi dan jumlah ulangan untuk mengetahui batas toleransi dan suhu optimal untuk pertumbuhan kedua isolat cendawan tersebut dan disarankan melakukan uji patogenitas pada akar tanaman.



# **DAFTAR PUSTAKA**

## DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, Nina H. E., dan Octaviani, E. A. 2013. Pengaruh pH, Penggoyangan Media, dan Penambahan Serbuk Gergaji terhadap Pertumbuhan Jamur *Xylaria* sp. Influence of pH, Shaked Medium, and Addition of Sawdust on the Growth of *Xylaria* sp. *Jurnal Silvikultur Tropika*. 04(02): 01–02.
- Agastya, I. M. I., Ameliawati, P., dan Fikrinda, W. 2018. Eksplorasi dan Identifikasi Jamur Patogen Serangga di Rhizosfer Lahan Kering Kabupaten Malang. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*. 17(3): 13–17. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.25181/jppt.v18i1.673>
- Almeida, I. F., Pereira, T., Silva, N. H. C. S., Gomes, F. P., Silvestre, A. J. D., Freire, C. S. R., Lobo, J. M. S., and Costa, P. C. 2014. Bacterial Cellulose Membranes as Drug Delivery Systems: an In Vivo Skin Compatibility Study. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*. 86(3): 332–336. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2013.08.008>.
- Andriani, Y., and Pratiwy, F. M. 2021. Screening, Isolation and Selection of Cellulolytic Fungi from Cattle Rumen Fluid for Bio-Degradator in Aquaculture. *International Journal of Fauna and Biological Studies*. 8(1): 34–37. <https://doi.org/10.22271/23940522.2021.v8.i1a.790>
- Anggraeni, A. S., Istiqomah, L., Damayanti, E., Anwar, M., Sakti, A. A., and Karimy, M. F. 2018. Cellulolytic Yeast From Gastrointestinal Tract of Muscovy Duck (*Anas moscata*) as Probiotic Candidate. *Journal of the Indonesian Tropical Animal Agriculture*. 43(4): 361–372. <https://doi.org/10.14710/jitaa.43.4.361-372>
- Baijal, U., and Mehrotra, B. S. 1980. The genus *Cunninghamella* — a Reassessment. *Mycol*. 33(2): 1–13.
- Barnett, H. L., and Hunter, B. B. 1998. *Illustrated Genera of Imperfect Fungi*. USA: APS Press.
- Basuki, B., Purwanto, B. H., Sunarmito, B. H., dan Hidayah U. S. N. 2016. Analisis Cluster Sebaran Hara Makro dan Rekomendasi Pemupukan untuk Tanaman Tebu (*Saccharum officinarum* Linn.). *Ilmu Pertanian (Agricultural Science)*. 18(3): 118–126. <https://doi.org/10.22146/ipas.10614>

- Basuki, dan Winarso, S. 2021. Peta Sebaran pH Tanah, Bahan Organik Tanah, dan Kapasitas Pertukaran Kation sebagai Dasar Rekomendasi Aplikasi Bahan Organik dan Dolomit pada Lahan Tebu. *Buletin Tanaman Tembakau, Serat & Minyak Industri*. 13(2): 78–93.  
<https://doi.org/10.21082/btسم.v13n2.2021.78-93>
- Bonkowski, M. 2004. Protozoa and Plant Growth: The Microbial Loop in Soil Revisited. *New Phytologist*. 162(3): 617–631. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01066.x>
- Bonkowski, M., Villenave, C., and Griffiths, B. 2009. Rhizosphere Fauna: The Functional and Structural Diversity of Intimate Interactions of Soil Fauna with Plant Roots. *Plant and Soil*. 321: 213–233.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11104-009-0013-2>
- Buée, M., Reich, M., Murat, C., Morin, E., Nilsson, R. H., Uroz, S., and Martin, F. 2009. Pyrosequencing Analyses of Forest Soils Reveal an Unexpectedly High Fungal Diversity. *New Phytologist*. 184(2): 449–456.  
<https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.03003.x>
- Bundela, P. S., Awasthi, M. K., and Sarsaiya, S. 2009. Prevalence of Fungi in Municipal Solid Waste of Jabalpur City (MP). *Journal of Basic & Applied Mycology*. 8(1–2): 80–81.
- Das, B. M. 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jakarta: Erlangga.
- Deacon, J. 2007. *Fungal Biology*. Oxford: Blackwell Publishing.
- Díaz, G. V., Coniglio, R. O., Chungara, C. I., Zapata, P. D., Villalba, L. L., and Fonseca, M. I. 2021. *Aspergillus niger* LBM 134 Isolated from Rotten Wood and its Potential Cellulolytic Ability. *Mycology*. 12(3): 160–173.  
<https://doi.org/10.1080/21501203.2020.1823509>
- El Baz, A. F., Shetaia, Y. M. H., Shams Eldin, H. A., and ElMekawy, A. 2016. Optimization of Cellulase Production by *Trichoderma viride* Using Response Surface Methodology. *Current Biotechnology*. 7(1): 19–25.  
<https://doi.org/10.2174/2211550105666160115213402>
- Elfiati, D., Susilowati, A., Modes, C., and Rachmat, H. H. 2019. Morphological and Molecular Identification of Cellulolytic Fungi Associated with Local Raru Species. *Biodiversitas*. 20(8): 2348–2354.  
<https://doi.org/10.13057/biodiv/d200833>
- Foth, H. D. 1990. *Fundamentals of Soil Science*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Furqon, A., dan Kusumawati, A. 2018. Perbandingan Aplikasi Seresah Dibakar dan Diserak Tanpa Dibakar Terhadap Pertumbuhan dan Produktivitas

- Tanaman Tebu (*Saccharum Officinarum* L.) di Distrik Cinta Manis PT Perkebunan Nusantara VII. *AGROISTA Jurnal Agroteknologi*. 02(02): 108–117.
- Ghazanfar, M. U., Raza, M., and Raza, W. 2018. Effect of Physiological Parameters on Mass Production of *Trichoderma* species. *Pakistan Journal of Phytopathology*, 30(1): 59–65.  
<https://doi.org/10.33866/phytopathol.030.01.0447>
- Gomez-Mendez, E., Brito-Vega, H., De, U., Lopez-Ferrer, C., Salaya-Dominguez, J. M., Ma, R. S.-H., Gomez-Vazquez, A., and Cruz-Hernandez, A. 2020. The Morphological and Molecular Characterization of *Trichoderma* spp. in Cocoa Agroforestry Systems. *Open Science Journal*. 5(4): 1–14.  
<https://doi.org/10.23954/osj.v5i4.2407>
- Govaerts, R. 2022. *Saccharum officinarum* L. The World Checklist of Vascular Plants (WCVP). Royal Botanic Gardens, Kew. Diakses pada 26 Juli 2023.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.15468/6h8ucr>.
- Grzyb, A., Wolna-Maruwka, A., and Niewiadomska, A. 2020. Environmental Factors Affecting the Mineralization of Crop Residues. *Agronomy*. 10(12): 1–18. <https://doi.org/10.3390/agronomy10121951>
- Hakim, L., Kurniatuhad, R., dan Rahmawati. 2020. Karakteristik Fisiologis Jamur Halofilik Berdasarkan Faktor Lingkungan dari Sumur Air Asin di Desa Suak, Sintang, Kalimantan Barat. *Jurnal Biologi Makassar*. 5(2): 227–232.
- Hallur, V., Prakash, H., Sable, M., Preetam, C., Purushotham, P., Senapati, R., Shankarnarayan, S. A., Bag, N. D., and Rudramurthy, S. M. 2021. *Cunninghamella arunalokei* a New Species of *Cunninghamella* from India Causing Disease in an Immunocompetent Individual. *Journal of Fungi*. 7(8): 1–13. <https://doi.org/10.3390/jof7080670>
- Harman, G. E., Howell, C. R., Viterbo, A., Chet, I., and Lorito, M. 2004. *Trichoderma* Species-Opportunistic, Avirulent Plant Symbionts. *Nature Reviews Microbiology*. 2(1): 1740–1534.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1038/nrmicro797>
- Hart, T. D., De Leij, F. A. A. M., Kinsey, G., Kelley, J., and Lynch, J. M. 2002. Strategies for the Isolation of Cellulolytic Fungi for Composting of Wheat Straw. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 18(5): 471–480.  
<https://doi.org/10.1023/A:1015519005814>
- Heijden, M. G. A. Van Der, Bardgett, R. D., and Straalen, N. M. Van. 2008. The Unseen Majority: Soil Microbes as Drivers of Plant Diversity and Productivity in Terrestrial Ecosystems. *Ecology Letters*. 11: 296–310.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01139.x>
- Hubbe, M. A., Nazhad, M., and Sánchez, C. (2010). Composting as a way to convert cellulosic biomass and organic waste into high-value soil amendments: A review. *BioResources*. 5(4): 2808–2854.  
<https://doi.org/10.15376/biores.5.4.2808-2854>

- Kementerian Pertanian Republik Indonesia. 2023. *Statistik Perkebunan Unggulan Nasional 2021-2023*. Jakarta: Kementerian Pertanian.
- Irawan, B. 2021. *Pengantar Mikologi*. Yogyakarta: Plantaxia.
- Islam, F., and Roy, N. 2018. Screening, Purification and Characterization of Cellulase from Cellulase Producing Bacteria in Molasses. *BMC Research Notes*. 11(1): 1–6. <https://doi.org/10.1186/s13104-018-3558-4>
- Jaenudin, A. 2017. Evaluasi Kesuburan Beberapa Jenis Tanah Di Lokasi Perkebunan Tebu Pabrik Gula PT Tersana Baru Kabupaten Cirebon. *Agroswagati Jurnal Agronomi*. 5(1): 540–555. <https://doi.org/10.33603/agroswagati.v5i1.1890>
- James, A., Pandya, S., Sutaoney, P., Joshi, V., and Ghosh, P. 2022. Isolation and Screening of Potent Cellulolytic Soil Fungi from Raipur City of Chhattisgarh State, India. *Journal of Scientific and Industrial Research*. 81(11): 1173–1180. <https://doi.org/10.56042/jsir.v81i11.60811>
- James, G. 2004. An Introduction to Sugarcane. In G. L. James (Ed.), *World Agriculture Series Sugarcane* (Second). USA: Blackwell Science Ltd.
- Jayasekara, S., and Ratnayake, R. 2019. *Microbial Cellulases: An Overview and Applications*. IntechOpen. <https://doi.org/DOI:10.5772/intechopen.75244>
- Khosravi, C., Benocci, T., Battaglia, E., Benoit, I., and de Vries, R. P. 2015. *Chapter One - Sugar Catabolism in Aspergillus and Other Fungi Related to the Utilization of Plant Biomass*. Oxford: Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/bs.aambs.2014.09.005>
- Kumla, J., Suwannarach, N., Sujarit, K., Penkhrue, W., Kakumyan, P., Jatuwong, K., Vadthananat, S., and Lumyong, S. 2020. Cultivation of Mushrooms and Their Lignocellulolytic Enzyme Production Through the Utilization of Agro-Industrial Waste. *Molecules*. 25(12): 1–39. <https://doi.org/10.3390/molecules25122811>
- Kurniawan, A., dan Yuliatun, S. (2008). *Hidrolisis Ampas Tebu dan Daduk Menggunakan Asam Konsentrasi Rendah*. Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia.
- Kusumawati, A., dan Putratama, D. R. 2023. Evaluasi Kesesuaian Lahan Tanaman Tebu (*Saccharum officinarum* L.) di Lahan Pasiran Cangkringan, Yogyakarta. *Agroteknika*: 6(1): 91–102. <https://doi.org/https://doi.org/10.55043/agroteknika.v6i1.202>
- Li, N., Li, J., Chen, Y., Shen, Y., Wei, D., and Wang, W. 2023. *Mechanism of Zn<sup>2+</sup> regulation of cellulase production in Trichoderma reesei Rut - C30*. 1–17. <https://doi.org/10.1186/s13068-023-02323-1>
- Li, Y., Yu, J., Zhang, P., Long, T., Mo, Y., Li, J., and Li, Q. 2021. Comparative Transcriptome Analysis of *Trichoderma reesei* Reveals Different Gene Regulatory Networks Induced by Synthetic Mixtures of Glucose and  $\beta$ -Disaccharide. *Bioresources and Bioprocessing*. 8(1).

<https://doi.org/10.1186/s40643-021-00411-4>

- Lynd, L. R., Weimer, P. J., Zyl, W. H. van, and Pretorius, I. S. 2002. Microbial Cellulose Utilization: Fundamentals and Biotechnology. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. 66(3): 506–577.  
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1128/MMBR.66.3.506-577.2002>
- Mbituyimana, B., Liu, L., Ye, W., Boni, B. O. O., Zhang, K., Chen, J., Thomas, S., Vasilievich, R. V., Shijun, S., and Yang, G. 2021. Bacterial Cellulose-Based Composites for Biomedical and Cosmetic Applications: Research Progress and Existing Products. *Carbohydrate Polymers*. 273: 118–565.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118565>
- Mendes, R., Garbeva, P., and Raaijmakers, J. M. 2013. The Rhizosphere Microbiome: Significance of Plant Beneficial, Plant Pathogenic, and Human Pathogenic Microorganisms. *FEMS Microbiology Reviews*. 37(5): 634–663.  
<https://doi.org/10.1111/1574-6976.12028>
- Mishra, B. K., and Nain, L. 2013. Microbial Activity During Rice Straw Composting Under Coinoculation of *Cellulomonas Cellulans* and *Phanerochaete chrysosporium*. *International Journal of ChemTech Research*. 5(2): 795–801
- Mishra, P. K., and Khan, F. N. 2015. Effect of Different Growth Media and Physical Factors on Biomass Production of *Trichoderma viride*. *People's Journal of Scientific Research*. 8(2): 11–17.
- Moore, P. H., Paterson, A. H., and Tew, T. 2014. Sugarcane: The Crop, the Plant, and Domestication. In P. H. Moore & F. C. Botha (Ed.), *World Agriculture Series Sugarcane Physiology, Biochemistry & Functional Biology*. Oxford: John Wiley & Sons, Inc.
- Morris, S., and Robertson, G. P. 2005. Linking Function Between Scales of Resolution. In D. J. W. J.F., and O. P. (Ed.), *The Fungal Community: its Organization and Role in the Ecosystem*. New York: Taylor and Francis.
- Müller, D. B., Vogel, C., Bai, Y., and Vorholt, J. A. 2016. The Plant Microbiota: Systems-Level Insights and Perspectives. *Annual Review of Genetics*. 50(1): 211–234. <https://doi.org/https://doi.org/10.1146/annurev-genet-120215-034952>
- Nadhifah, Y. M., Hastuti, U. S., dan Syamsur, I. 2023. Isolasi, Karakterisasi, dan Identifikasi Mikroflora Dari Rizosfer Tanah Pertanian Tebu (*Saccharum officinarum* L.) Sebagai Bahan Ajar Kingdom Fungi Untuk Siswa Kelas X SMA. *Jurnal Pendidikan: Teori, Penelitian, dan Pengembangan*. 1(10): 2023–203.
- Nguyen, T. T. T., Choi, Y. J., and Lee, H. B. 2017. Isolation and characterization of three unrecorded zygomycete fungi in Korea: *Cunninghamella bertholletiae*, *Cunninghamella echinulata*, and *Cunninghamella elegans*. *Mycobiology*. 45(4): 318–326. <https://doi.org/10.5941/MYCO.2017.45.4.318>
- Nugraha, A. W. (2012). Isolasi dan Biodegradasi Limbah Daduk oleh Kapang

Selulolitik dari Perkebunan Tebu (Skripsi). Universitas Airlangga.

- Okolie, J., Nanda, S., Dalai, A., & Kozinski, J. 2021. Chemistry and Specialty Industrial Applications of Lignocellulosic Biomass. *Waste and Biomass Valorization*. 12(272): 2145–2169. <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01123-0>
- Paul, E. A. 2007. *Soil Microbiology, Ecology, and Biochemistry*. USA: Elsevier.
- Petrisor, C., Paica, A., and Constantinescu, F. 2016. Influence of Abiotic Factors on In Vitro Growth of *Trichoderma* strains. *Biology*. 50(1): 11–14.
- Pietikäinen, J., Pettersson, M., and Bååth, E. 2005. Comparison of Temperature Effects on Soil Respiration and Bacterial and Fungal Growth Rates. *FEMS Microbiology Ecology*. 52(1): 49–58. <https://doi.org/10.1016/j.femsec.2004.10.002>
- Pitt, J. I., and Hocking, A. D. 2009. *Fungi and Food Spoilage*. London: Springer.
- Rae, A. L., Martinelli, A. P., and Dornelas, M. C. 2014. Anatomy and Morphology. In P. H. Moore & F. C. Botha (Ed.), *World Agriculture Series Sugarcane Physiology, Biochemistry & Functional Biology*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Rahmad. 2021. Uji Patogenitas Cendawan Pendegradasi Bahan Organik Pada Bibit Tanaman Tebu (*Saccharum officinarum*). *Jurnal Agroplantae*, 1(69): 5–24.
- Ramli, N., Tafsin, M., dan Hasjmy, A. D. 2009. Pertumbuhan Optimum *Penicillium* spp. dan *Cunninghamella* spp. yang Diisolasi dari Pakan dan Efek Toksiknya pada Mencit (*Mus musculus*). *Media Peternakan*, 32(1).
- Richardson, A. E., Barea, J. M., McNeill, A. M., and Prigent-Combaret, C. 2009. Acquisition of Phosphorus and Nitrogen in the Rhizosphere and Plant Growth Promotion by Microorganisms. *Plant and Soil*. 321(1–2): 305–339. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-9895-2>
- Roza, R. M., Martina, A., Fibriarti, B. L., Zul, D., dan Ramadhan, N. 2013. Isolasi dan Seleksi Jamur Selulolitik dari Tanah Gambut di Perkebunan Karet Desa Rimbo Panjang Kabupaten Kampar Riau. *Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung* 2013: 263–266.
- Saputra, R., Puspita, F., Hamzah, A., and Suryani, E. 2022. Morphological Characterization of *Trichoderma* spp. Isolated from the Oil Palm Rhizosphere in Peat Soils and its Potential as a Biological Control for *Ganoderma* sp. in Vitro. *Jurnal Ilmiah Pertanian*. 19(2): 56–68. <https://doi.org/https://doi.org/10.31849/jip.v19i2.9405>
- Sari, S. L. A., Setyaningsih, R., and Wibowo, N. F. A. 2017. Isolation and Screening of Cellulolytic Fungi from *Salacca edulis* Leaf Litter. *Biodiversitas*. 18(3): 1282–1288. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d180355>
- Schimel, J. P., & Bennett, J. 2004. Nitrogen Mineralization: Challenges of A Changing Paradigm. *Ecology*. 85(3): 591–602.

- Seephueak, P., Preecha, C., and Seephueak, W. 2017. Isolation and Screening of Cellulolytic Fungi from Spent Mushroom Substrates. *International Journal of Agricultural Technology*. 13(5): 729–739.
- Shahrizzaman, M., Hossain, S., Ahmed, T., Kabir, S. F., Islam, M. M., Rahman, A., Islam, M. S., Sultana, S., and Rahman, M. M. 2022. Biological Macromolecules as Antimicrobial Agents. In A. K. Nayak, A. K. Dhara, and D. Pal (Ed.), *Biological Macromolecules*. Elsevier Inc.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/C2020-0-02562-4>
- Sharma, V., Sharma, A., and Seth, R. 2016. Effect of Temperature and pH Variations on Growth Pattern of Keratinophilic Fungi from Jaipur, India. *Entomology and Applied Science Letters*, 3(5): 177–181.
- Siameto, E. N., Okoth, S., Amugune, N. O., and Chege, N. C. 2011. Molecular Characterization and Identification of Biocontrol Isolates of *Trichoderma harzianum* from Embu District, Kenya. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 13: 81–90.  
<https://www.redalyc.org/pdf/939/93916247011.pdf>
- Sinha, A., Singh, R., Rao, S. G., and Verma, A. 2018. Comprehensive evaluation of *Trichoderma harzianum* and *Trichoderma viride* on different culture media & at different temperature and pH. *The Pharma Innovation Journal*. 7(2): 193–195. <http://thiagaruni.org/engpdf9/42.pdf>
- Sivaramanan, S. 2014. Isolation of Cellulolytic Fungi and their Degradation on Cellulosic Agricultural Wastes. *Journal of Academia and Industrial Research*. 2(8): 458–463. <https://doi.org/10.13140/2.1.3633.4080>
- Sopialena. 2017. *Segitiga Penyakit Tanaman*. Samarinda: Mulawarman University PRESS.
- Subali, B. 2018. *Metodologi Penelitian Biologi dan Biologi Terapan*. Yogyakarta: UNY Press.
- Sukmawati, D., Dellanerra, D., and Risandi, A. 2018. Screening the Capabilities of Indonesian Indigenous Mold in Producing Cellulase Enzyme. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 434(1).  
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/434/1/012125>
- Sumardi, Agustrina, R., Ekowati, C. N., and Pasaribu, Y. S. 2018. Characterization of Protease from *Bacillus* sp. on Medium Containing FeCl<sub>3</sub> Exposed to Magnetic Field 0.2 MT. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 130(1): 1–12. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/130/1/012046>
- Sumarsih, S. 2003. *Mikrobiologi Dasar*. Yogyakarta: Universitas Pembangunan Nasional.
- Sutari, N. W. S. 2020. Isolasi dan Identifikasi Morfologi Jamur Selulolitik dari Limbah Rumah Tangga di Desa Sanur Kauh, Bali. *Agrovigor: Jurnal Agroekoteknologi*, 13(2): 100–105.  
<https://doi.org/10.21107/agrovigor.v13i2.7443>



- Tanpichai, S., Boonmahitthisud, A., Soykeabkaew, N., and Ongthip, L. 2022. Review of the Recent Developments in All-Cellulose Nanocomposites: Properties and Applications. *Carbohydrate Polymers*. 286: 119–192. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119192>
- Tondje, P. R., Roberts, D. P., Bon, M. C., Widmer, T., Samuels, G. J., Ismaiel, A., Begoude, A. D., Tchana, T., Nyemb-Tshomb, E., Ndoumbe-Nkeng, M., Bateman, R., Fontem, D., and Hebbar, K. P. 2007. Isolation and Identification of Mycoparasitic Isolates of *Trichoderma asperellum* with Potential for Suppression of Black Pod Disease of Cacao in Cameroon. *Biological Control*. 43(2): 202–212. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2007.08.004>
- Verbon, E. H., and Liberman, L. M. 2016. Beneficial Microbes Affect Endogenous Mechanisms Controlling Root Development. In *Trends in Plant Science*. 21(9): 218–229. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.01.013>
- Wahidah, T. H., Mustikaningtyas, D., Widiatningrum, T., dan Dewi, P. 2022. Pengaruh Faktor Lingkungan terhadap Pertumbuhan *Trichoderma* spp. dan Aktivitas Enzim Amilase dan Xilanase. *Life Science*. 11(2): 108–119.
- Walker, G. M., and White, N. A. 2018. Fungi Biology and Applications. In K. Kavanagh (Ed.), *Fungi Biology and Applications* (3 ed.). New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Watanabe, T. 2010. *Pictorial Atlas of Soil and Seed Fungi: Morphologies of Cultured Fungi and Key to Species* (3 ed.). London: CRC Press.
- Webster, J., and Weber, R. W. S. 2007. *Introduction to Fungi*. New York: Cambridge University Press.
- Wüstenberg, T. 2014. *Cellulose and Cellulose Derivates in The Food Industry Fundamentals and Application*. New York: John Wiley
- Xiong, B. J., Stanley, C. E., Dusny, C., Schlosser, D., Harms, H., and Wick, L. Y. 2022. pH Distribution along Growing Fungal Hyphae at Microscale. *Journal of Fungi*, 8(6): 1–10. <https://doi.org/10.3390/jof8060599>
- Zehra, A., Dubey, M. K., Meena, M., and Upadhyay, R. S. 2017. Effect of Different Environmental Conditions on Growth and Sporulation of Some *Trichoderma* species. *Journal of Environmental Biology*, 38(2): 197–203. <https://doi.org/10.22438/jeb/38/2/MS-251>
- Zhai, R., Hu, J., and Saddler, J. N. 2018. The Inhibition of Hemicellulosic Sugars on Cellulose Hydrolysis are Highly Dependant on the Cellulase Productive Binding, Processivity, and Substrate Surface Charges. *Bioresource Technology*. 258: 79–87. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.12.006>
- Zhang, Z. Y., Zhao, Y. X., Shen, X., Chen, W. H., Han, Y. F., Huang, J., and Liang, Z. Q. 2020. Molecular Phylogeny and Morphology of *Cunninghamella guizhouensis* sp. nov. (Cunninghamellaceae, Mucorales), from soil in Guizhou, China. *Phytotaxa*, 455(1): 31–39. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.455.1.4>