

BAKTERI SELULOLITIK SEBAGAI AGENS HAYATI
***Phytophthora capsici* SERTA ANALISIS KEANEKARAGAMAN**
DAN PERAN ENZIM ENDOGLUKANASE

FARHANTYO FAUZAN DWINUGROHO



PROGRAM STUDI PENGENDALIAN HAMA TERPADU
FAKULTAS PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Bakteri Selulolitik sebagai Agens Hayati *Phytophthora capsici* serta Analisis Keanekaragaman dan Peran Enzim Endoglukanase” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Agustus 2025

Farhantyo Fauzan Dwinugroho
A3503231008



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

RINGKASAN

FARHANTYO FAUZAN DWINUGROHO. Bakteri Selulolitik sebagai Agens Hayati *Phytophthora capsici* serta Analisis Keanekaragaman dan Peran Enzim Endoglukanase. Dibimbing oleh GIYANTO dan EFI TODING TONDOK.

Oomycota merupakan salah satu filum yang dapat menyebabkan kerusakan tinggi terhadap tanaman. Filum tersebut memiliki karakteristik berupa komponen dinding sel yang mengandung selulosa. Terdapat berbagai patogen yang menyebabkan kerusakan tanaman yang tinggi pada filum ini, salah satu genus pentingnya adalah *Phytophthora*. Genus *Phytophthora* terkenal menyebabkan bencana kelaparan di Irlandia pada 1840-an.

Berbagai pengendalian telah dilakukan seperti penggunaan tanaman resisten, kultur teknis dan penggunaan fungisida. Perbedaan komposisi dinding sel yang dimiliki oleh Oomycota menjadi salah satu pertimbangan penting dalam menentukan strategi pengendalian penyakit yang efektif. Bakteri selulolitik merupakan bakteri yang mampu memproduksi enzim selulase untuk mendegradasi selulosa menjadi glukosa. Hidrolisis selulosa menjadi glukosa oleh enzim selulase berlangsung secara sinergis meliputi tiga enzim yaitu Endo- β -1,4-glukanase, Exo- β -1,4-glukanase, dan β -glukosidase. Dengan mengetahui komposisi dinding sel Oomycota yang mengandung selulosa, maka dapat memanfaatkan bakteri selulolitik yang menghasilkan enzim selulase dalam menghambat pertumbuhan Oomycota. Penelitian ini menggunakan *Phytophthora capsici* sebagai patogen model Oomycota. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan bakteri penghasil enzim selulase (bakteri selulolitik) dan analisis keanekaragaman genetiknya, memperoleh bakteri selulolitik yang dapat berperan sebagai agens hayati terhadap *P. capsici* serta mengonfirmasi peran enzim endoglukanase dalam menghambat pertumbuhan *P. capsici*.

Eksplorasi bakteri selulolitik dan analisis keanekaragaman genetiknya memiliki tahapan penelitian yang meliputi: pengambilan sampel, isolasi bakteri total, seleksi bakteri selulolitik pada media CMC, amplifikasi gen endoglukanase dengan primer endoglukanase EN1F dan EN1R dari endoglukanase milik *Bacillus subtilis*, dan analisis keanekaragaman genetik endoglukanase. Pengujian bakteri selulolitik sebagai agens hayati *Phytophthora capsici* meliputi: rejuvenasi isolat *P. capsici*, rejuvenasi bakteri selulolitik, uji keamanan hayati, uji daya hambat terhadap *P. capsici*, karakterisasi fisiologis bakteri selulolitik, pemilihan isolat menggunakan *Analytical Hierarchy Process* (AHP), uji fitotoksisitas bakteri selulolitik, uji keefektifan bakteri selulolitik terhadap penyakit busuk pangkal batang cabai, dan identifikasi bakteri selulolitik secara molekuler. Konfirmasi peran enzim endoglukanase meliputi konstruksi mutan yang kehilangan kemampuan selulolitiknya dengan teknik *UV mutagenesis*. Konstruksi mutan meliputi: rejuvenasi bakteri selulolitik, konstruksi mutan dengan *UV mutagenesis*, seleksi mutan pada media CMC, uji penghambatan mutan terhadap *P. capsici*.

Sampel yang digunakan dalam eksplorasi bakteri adalah kayu lapuk, tanah, rayap, sampah organik, feses kambing, kuda, dan sapi. Isolasi mendapatkan 279 bakteri total dengan 72 diantaranya memiliki kemampuan dalam mendegradasi selulosa (selulolitik). Indeks selulolitik yang dihasilkan dari 72 bakteri selulolitik tersebut berkisar 0,222 hingga 10,428. Amplifikasi gen endoglukanase



menggunakan primer EN1F dan EN1R asal *Bacillus subtilis* mendapatkan enam isolat teramplifikasi gen endoglukanase. Enam gen endoglukanase tersebut memiliki kemiripan antar isolat berkisar 79-94%. Hasil analisis domain didapatkan enam endoglukanase memiliki kemiripan dengan protein dari kelompok *Cellulase Glycosyl Hydrolase Family 5* (GH5) dan mengandung domain pengikat karbohidrat (*Carbohydrate Binding Module_3/CBM_3*). Hasil analisis wilayah konservatif dibandingkan dengan endoglukanase GH 5 yang terkarakterisasi menunjukkan adanya wilayah konservatif yang diduga area domain katalitik GH5 dan domain pengikat karbohidrat CBM_3.

Pengujian bakteri selulolitik sebagai agens hayati *Phytophthora capsici* diawali dengan pengujian keamanan hayati bakteri selulolitik. Sebanyak 36 bakteri selulolitik aman secara hayati dan 26 diantaranya memiliki penghambatan antara 8,15% hingga 79,15%. Lima isolat potensial dipilih berdasarkan kemampuan penghambatan terhadap *P. capsici*, karakteristik fisiologisnya dan tidak toksik terhadap benih cabai. Lima isolat (S55, K15, S61, FS28 dan S80) diuji keefektifannya terhadap penyakit busuk pangkal batang cabai. Isolat S55 dan K15 menghasilkan tanaman dengan persentase kehidupan yang tinggi, yaitu 86,67% dan 75,56% secara berturut-turut. Identifikasi secara molekuler didapatkan isolat S55 dan S61 memiliki kemiripan yang tinggi terhadap *Pseudomonas aeruginosa*, K15 terhadap *Proteus penneri*, FS28 terhadap *Bacillus altitudinis*, dan S80 terhadap *Brevundimonas* sp.

Konstruksi mutan dalam konfirmasi peran enzim endoglukanase dalam menghambat *Phytophthora capsici* dilakukan pada isolat S61, yaitu *Pseudomonas aeruginosa*. Konstruksi mutan dengan persentase hidup 1% berhasil dilakukan secara konstan menggunakan waktu paparan UV 2 detik. Hasil paparan UV menghasilkan 28 isolat yang tidak lagi bersifat selulolitik. Sebanyak 12 mutan kehilangan kemampuannya dalam menghambat *Phytophthora capsici*. Hal ini menguatkan dugaan bahwa enzim endoglukanase berperan dalam mekanisme penghambatan terhadap *P. capsici*.

Kata kunci: *Brevundimonas* sp., famili glikosil hidrolase 5, *Proteus penneri*, UV mutagenesis

SUMMARY

FARHANTYO FAUZAN DWINUGROHO. Cellulolytic Bacteria as Biological Agents of *Phytophthora capsici* and Analysis of Diversity and the Role of Endoglucanase Enzymes. Supervised by GIYANTO, and EFI TODING TONDOK.

Oomycota is one of the phyla capable of causing severe damage to plants. This phylum is characterized by a cell wall composition containing cellulose. Various plant pathogens within this phylum cause significant damage, with *Phytophthora* being one of the most important genera. The genus *Phytophthora* is well known for causing the Irish potato famine in the 1840.

Various control measures have been implemented, including the use of resistant plants, technical culture, and the use of fungicides. The differences in cell wall composition of Oomycota are an important consideration in determining effective disease control strategies. Cellulolytic bacteria are bacteria capable of producing cellulase enzymes to degrade cellulose into glucose. The hydrolysis of cellulose into glucose by cellulase enzymes occurs synergistically, involving three enzymes: Endo- β -1,4-glucanase, Exo- β -1,4-glucanase, and β -glucosidase. By understanding the cellulose-containing composition of Oomycota cell walls, cellulolytic bacteria that produce cellulase enzymes can be utilized to inhibit Oomycota growth. This study used *Phytophthora capsici* as a model pathogenic Oomycota.

The objectives of this study were to identify cellulase-producing bacteria (cellulolytic bacteria) and analyze their genetic diversity. To obtain cellulolytic bacteria that can act as biological agents against *P. capsici*, and to confirm the role of endoglucanase enzymes in inhibiting *P. capsici* growth. Exploration of cellulolytic bacteria and analysis of their genetic diversity has research stages that include: sampling, total bacterial isolation, selection of cellulolytic bacteria on CMC media, amplification of endoglucanase genes with endoglucanase primers EN1F and EN1R from endoglucanase *Bacillus subtilis*, and analysis of endoglucanase genetic diversity. Testing of cellulolytic bacteria as biological agents of *Phytophthora capsici* includes: rejuvenation of *P. capsici* isolates, rejuvenation of cellulolytic bacteria, biosafety tests, inhibition tests against *P. capsici*, physiological characterization of cellulolytic bacteria, selection of isolates using analytical hierarchy process (AHP), phytotoxicity tests of cellulolytic bacteria, efficacy tests of cellulolytic bacteria against chili stem rot disease, and molecular identification of cellulolytic bacteria. Confirmation of the role of the endoglucanase enzyme was carried out by constructing mutants that lost their cellulolytic ability using UV mutagenesis techniques. Mutant construction included: rejuvenation of cellulolytic bacteria, mutant construction using UV mutagenesis, mutant selection on CMC media, and mutant inhibition test against *P. capsici*.

The samples used in the bacterial exploration were rotting wood, soil, termites, organic waste, goat, horse, and cow feces. Isolation obtained a total of 279 bacteria with 72 of them having the ability to degrade cellulose (cellulolytic). The cellulolytic index produced from the 72 cellulolytic bacteria ranged from 0.222 to 10.428. Amplification of the endoglucanase gene using primers EN1F and EN1R from *Bacillus subtilis* obtained six isolates whose endoglucanase genes were



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

amplified. The six endoglucanase genes have a kinship between isolates ranging from 79-94%. The results of domain analysis showed that six endoglucanases have similarities with proteins from the Cellulase Glycosyl Hydrolase Family 5 (GH5) group and contain a carbohydrate binding domain (Carbohydrate Binding Module_3/CBM_3). The results of the analysis of the conservative region compared with the characterized GH 5 endoglucanase showed the presence of a conservative region which is suspected to be the GH5 catalytic domain area and the CBM_3 carbohydrate binding domain.

Testing of cellulolytic bacteria as biological agents of *Phytophthora capsici* began with a biosafety test of cellulolytic bacteria. A total of 36 cellulolytic bacteria were biosafe and 26 of them had inhibition between 8.15% and 79.15%. Five potential isolates were selected based on their inhibitory ability against *P. capsici*, their physiological characteristics and non-toxicity to chili seeds. Five isolates (S55, K15, S61, FS28 and S80) were tested for efficacy against basal stem rot disease of chili. Isolates S55 and K15 produced plants with a high percentage of survival, namely 86.67% and 75.56%, respectively. Molecular identification showed that isolates S55 and S61 had a high similarity to *Pseudomonas aeruginosa*, K15 to *Proteus penneri*, FS28 to *Bacillus altitudinis*, and S80 to *Brevundimonas* sp.

Mutant construction to confirm the role of endoglucanase enzymes in inhibiting *P. capsici* was carried out on isolate S61, *Pseudomonas aeruginosa*. UV exposure resulted in 28 isolates that were no longer cellulolytic. A total of 12 mutants lost their ability to inhibit *Phytophthora capsici*. This confirms the hypothesis that endoglucanase enzymes play a role in the inhibitory mechanism against *P. capsici*.

Keywords: *Brevundimonas* sp., glycosyl hydrolase family 5, *Proteus penneri*, UV mutagenesis



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2025
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

BAKTERI SELULOLITIK SEBAGAI AGENS HAYATI *Phytophthora capsici* SERTA ANALISIS KEANEKARAGAMAN DAN PERAN ENZIM ENDOGLUKANASE

FARHANTYO FAUZAN DWINUGROHO

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
gelar Magister Sains pada
Program Studi Pengendalian Hama Terpadu

**PROGRAM STUDI PENGENDALIAN HAMA TERPADU
FAKULTAS PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Judul Tesis : Bakteri Selulolitik sebagai Agens Hayati *Phytophthora capsici*
serta Analisis Keanekaragaman dan Peran Enzim
Endoglukanase

Nama : Farhantyo Fauzan Dwinugroho
NIM : A3503231008

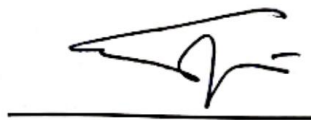
@Hak cipta milik IPB University

Ketua Komisi Pembimbing
Dr. Ir. Giyanto, M.Si.

Disetujui oleh



Anggota Komisi Pembimbing
Dr. Efi Toding Tondok, S.P., M.Sc.Agr.



Diketahui oleh

Ketua Program Studi
Dr. Ir. Giyanto, M.Si.
NIP. 196707091993031002



Dekan Fakultas Pertanian
Prof. Dr. Ir. Suryo Wiyono, MSc.Agr
NIP. 196902121992031003



Tanggal Ujian: 25 Juli 2025

Tanggal Lulus:

14 AUG 2025



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang senantiasa memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga tesis dengan judul “Bakteri Selulolitik sebagai Agens Hayati *Phytophthora capsici* serta Analisis Keanekaragaman dan Peran Enzim Endoglukanase” dapat diselesaikan dengan baik. Tesis ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Sains pada program studi Pengendalian Hama Terpadu, Departemen Proteksi Tanaman, Institut Pertanian Bogor.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. Ir. Giyanto, M.Si sebagai pembimbing yang sangat banyak memberikan arahan, nasihat, pengalaman, dan ilmu-ilmu yang berkaitan dengan pendidikan maupun ilmu kehidupan. Terima kasih kepada Dr. Efi Toding Tondok, S.P., M.Sc.Agr. selaku pembimbing yang telah memberikan bimbingan serta arahan selama kegiatan penelitian hingga penyusunan tesis ini. Ucapan terima kasih juga penulis tujukan kepada Prof. Dr. Ir. Widodo, MS selaku penguji tesis yang sangat membuka wawasan penulis. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Papa Usman Setyo Nugroho, Mama Yessi Handayani dan abangku Reyhantyo Eko Nugroho yang mendukung penulis melanjutkan studi pascasarjana dan selalu memberikan motivasi, semangat dan kasih sayang hingga penulis berada di tahap ini. Terima kasih penulis ucapkan kepada Aulia Maulidya yang menemani penulis disaat suka dan duka hingga penulis menyelesaikan tesis ini. Penulis juga mengucapkan kepada teman-teman terdekat Mas Vidi, Calvin, Fatimah, Kak Ayu, Caca, Atifah, Mas Andra, Mas Solihin, Kak Dinda, Kak Sri, Kak Dessy, Kak Halida dan Rafi yang selalu membawa kebahagiaan. Ucapan terima kasih juga penulis tujukan kepada Adi Nugraha dan Tiara Edelwinna yang telah banyak membantu dan mengajari segala hal tentang laboratorium hingga peneliti bisa seperti saat ini. Ucapan terima kasih tidak lupa penulis sampaikan teruntuk teman-teman Pengendalian Hama Terpadu, Laboratorium Bakteriologi, Mikologi, Nematologi, Virologi dan teman-teman lain selama penulis berkuliah di IPB.

Semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi banyak orang maupun peneliti serta dapat menjadi sumber informasi di bidang proteksi tanaman, khususnya yang berhubungan dengan bakteri selulolitik. Penulis menyadari dalam tesis ini masih terdapat banyak kekurangan, sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun diharapkan oleh penulis agar dapat menjadi perbaikan yang lebih baik.

Bogor, Agustus 2025

Farhantyo Fauzan Dwinugroho



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL.....	xix
DAFTAR GAMBAR	xx
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 <i>Phytophthora</i> sp. sebagai Patogen Tumbuhan	4
2.2 Pengendalian Hayati <i>Phytophthora capsici</i>	5
2.3 Enzim Selulase	5
2.4 Bakteri Selulolitik sebagai Pengendali Patogen Oomycota	6
2.5 Mutagenesis Ultraviolet	7
2.6 Kloning dan Ekspresi Gen Endoglukanase	7
III EKSPLORASI BAKTERI SELULOLITIK DAN ANALISIS KEANEKARAGAMAN GEN ENDOGLUKANASE	9
3.1 Abstrak	9
3.2 <i>Abstract</i>	9
3.3 Pendahuluan	10
3.4 Bahan dan Metode.....	10
3.5 Hasil dan Pembahasan.....	12
3.7 Saran	20
IV BAKTERI SELULOLITIK SEBAGAI AGENS HAYATI <i>Phytophthora capsici</i>	21
4.1 Abstrak	21
4.2 <i>Abstract</i>	21
4.3 Pendahuluan	21
4.4 Bahan dan Metode.....	23
4.5 Hasil dan Pembahasan.....	27
4.6 Simpulan.....	39
4.7 Saran	39
V KONFIRMASI PERAN ENZIM ENDOGLUKANASE DALAM MENEKAN <i>Phytophthora capsici</i>	40



5.1 Abstrak.....	40
5.2 <i>Abstract</i>	40
5.3 Pendahuluan.....	41
5.4 Bahan dan Metode	41
5.5 Hasil dan Pembahasan	42
5.6 Simpulan	45
5.7 Saran	45
VI PEMBAHASAN UMUM	46
VII SIMPULAN DAN SARAN	48
6.1 Simpulan	48
6.2 Saran	48
DAFTAR PUSTAKA	49

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



DAFTAR TABEL

1	Homologi sikuen gen endoglukanase bakteri selulolitik	15
2	Isolat, urutan asam amino dan famili protein hasil pencarian NCBI-CDD	18
3	Indeks selulolitik enam isolat bakteri selulolitik	20
4	Kriteria dan bobot dalam analytical hierarchy process	25
5	Hasil reaksi hipersensitif dan hemolisis isolat bakteri selulolitik	29
6	Kemampuan bakteri selulolitik memproduksi VOC, IAA, siderofor, fiksasi Nitrogen dan melarutkan fosfat	32
7	Pengaruh perlakuan bakteri selulolitik terhadap parameter agronomi tanaman cabai pada fase pembibitan hari ke-7	34
8	Pengaruh perlakuan bakteri selulolitik terhadap parameter agronomi tanaman cabai pada fase pembibitan hari ke-14	35
9	Persentase tanaman hidup cabai berumur 25 hari setelah semai dan parameter agronomis hasil uji keefektifan pada pembibitan tanaman cabai	36

DAFTAR GAMBAR

1	Diagram alir penelitian “Bakteri Selulolitik sebagai Agens Hayati <i>Phytophthora capsici</i> serta Analisis Keanekaragaman dan Peran Endoglukanase”	3
2	Siklus hidup representatif untuk <i>Phytophthora</i> (Lamour 2013)	4
3	Mekanisme enzim selulase dalam menghidrolisis selulosa menjadi glukosa (Nero <i>et al.</i> 2022)	6
4	Peta plasmid pET-28a yang digunakan sebagai vektor ekspresi gen	8
5	Jumlah jenis koloni isolat bakteri dan isolat bakteri selulolitik	13
6	Indeks selulolitik isolat bakteri dari berbagai asal sampel	14
7	Visualisasi amplikon gen endoglukanase menggunakan primer endoglukanase EN1F dan EN1R dari <i>Bacillus subtilis</i>	15
8	<i>Pairwise identity</i> antar protein endoglukanase menggunakan SDT v1.3	16
9	Analisis domain enzim endoglukanase dari enam isolat bakteri selulolitik	17
10	Penyejajaran sikuen gen endoglukanase pada enam isolat bakteri selulolitik dan gen endoglukanase <i>Bacillus subtilis</i>	19
11	Pertumbuhan <i>Phytophthora capsici</i> pada berbagai media	27
12	Reaksi hipersensitif daun tembakau terhadap isolat bakteri selulolitik	28
13	Aktivitas hemolisis bakteri selulolitik pada media agar darah 24 jam.	28
14	Pertumbuhan <i>Phytophthora capsici</i> dengan isolat bakteri selulolitik yang berbeda pada hari ke 7	30
15	Persentase penghambatan bakteri selulolitik terhadap <i>Phytophthora capsici</i>	31
16	Pohon filogenetik 5 isolat bakteri selulolitik menggunakan metode <i>Neighbor-Joining</i> dengan replikasi bootstrap 1000	39
17	Persentase hidup hidup <i>Pseudomonas aeruginosa</i> pada waktu paparan UV yang berbeda	43
18	Bakteri selulolitik tanpa paparan UV (a) dan dengan paparan UV selama dua detik (b)	43
19	Hasil seleksi mutan bakteri selulolitik (a), zona bening pada bakteri yang tidak terjadi mutasi gen endoglukanase (b), bakteri yang terjadi mutasi gen endoglukanase (c)	44
20	Penghambatan <i>wild type Pseudomonas aeruginosa</i> dan mutan terhadap <i>Phytophthora capsici</i>	45



DAFTAR LAMPIRAN

1	Gejala serangan <i>Phytophthora capsici</i> pada pangkal batang bibit cabai	60
2	Perkecambahan benih cabai umur 7 hari pada uji fitotoksisita	60
3	Perkecambahan benih cabai umur 14 hari pada uji fitotoksisita	63
4	Hasil penyejajaran gen endoglukanase enam isolat bakteri selulolitik	68

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.