

**EKSPLORASI CENDAWAN RIZOSFER PADI AROMATIK LOKAL
KABUPATEN LUWU UTARA SEBAGAI AGENS PENGENDALI
HAYATI TIGA HAPLOTIPE *PYRICULARIA ORYZAE***

*EXPLORATION OF FUNGAL RHIZOSPHERE FROM LOCAL
AROMATIC RICE IN NORTH LUWU AS BIOLOGICAL
CONTROL AGENTS OF THREE HAPLOTYPES
OF PYRICULARIA ORYZAE*

LILIS MINARSEH

G022211003



**PROGRAM STUDI ILMU HAMA DAN PENYAKIT TUMBUHAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

2023

**EKSPLORASI CENDAWAN RIZOSFER PADI AROMATIK LOKAL
KABUPATEN LUWU UTARA SEBAGAI AGENS PENGENDALI
HAYATI TIGA HAPLOTIPE *PYRICULARIA ORYZAE***

Tesis

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar magister

Program Studi
Ilmu Hama dan Penyakit Tumbuhan

Disusun dan diajukan oleh

LILIS MINARSEH
G022211003

Kepada

**PROGRAM MEGISTER ILMU HAMA DAN PENYAKIT TUMBUHAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

TESIS

EKSPLORASI CENDAWAN RIZOSFER PADI AROMATIK LOKAL KABUPATEN LUWU UTARA SEBAGAI AGENS PENGENDALI HAYATI TIGA HAPLOTIPE *PYRICULARIA ORYZAE*

LILIS MINARSEH

NIM: G022211003

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Magister Ilmu Hama dan Penyakit Tumbuhan

Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin

Pada tanggal 13 Januari 2023

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

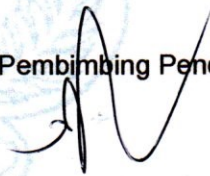
Pembimbing Utama



Prof. Dr. Ir. Tutik Kuswinanti, M.Sc.

NIP. 19650316 198903 2 002

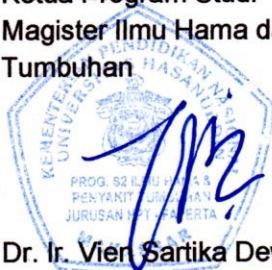
Pembimbing Pendamping



Prof. Dr. Ir. Andi Nasruddin, M.Sc.

NIP. 19600101 198601 1 011

Ketua Program Studi
Magister Ilmu Hama dan Penyakit
Tumbuhan


KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, DAN KEMASYARAKATAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
PROG. S2 ILMU HAMA DAN PENYAKIT TUMBUHAN
JURUSAN FITO-VEGETA

Dr. Ir. Vier Sartika Dewi, M.Si.

NIP. 19651227 198910 2 001

Dekan Fakultas Pertanian
Universitas Hasanuddin


KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, DAN KEMASYARAKATAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
FAKULTAS PERTANIAN

Prof. Dr. Ir. Salengke, M.Sc.

NIP. 1963123 198811 1 005

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Lilis Minarseh

Nomor Induk Mahasiswa : G022211003

Program Studi : Ilmu Hama dan Penyakit Tumbuhan

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 13 Januari 2023



Lilis Minarseh

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
تُحِيَّاتُكَ اللَّهُ وَرَحْمَةُكَ عَلَيْكَ السَّلَامُ

Alhamdulillahirabbil'alamin atas segala nikmat iman, Islam, kesempatan, serta kekuatan yang telah diberikan Allah *Subhanahuwata'ala* sehingga Penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “Eksplorasi Cendawan Rizosfer Padi Aromatik Lokal Kabupaten Luwu Utara Sebagai Agens Pengendali Hayati Tiga Haplotipe *Pyricularia oryzae*”, sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Program Studi Ilmu Hama dan Penyakit Tumbuhan, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin.

Sebagai seorang hamba yang dhoif, penulis menyadari bahwa sejak penyusunan proposal hingga pembuatan laporan hasil penelitian yang dituangkan dalam Tesis ini tidak sedikit hambatan dan tantangan yang dihadapi Penulis. Namun, dengan pertolongan Allah SWT yang datang melalui dukungan dari berbagai pihak secara langsung maupun tidak langsung sehingga semuanya dapat diatasi.

Oleh karena itu dari lubuk hari hati yang paling dalam Penulis menyampaikan terima kasih serta penghargaan yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua Orang Tuaku, Ayahanda tercinta Sarono dan Ibunda Wiwik Sarono tersayang yang telah memberikan doa, pengorbanan, cinta dan kasih sayang kepada Penulis yang tiada batas. Semoga ketulusan hati mendidik anak-anaknya mendapat balasan pahala dan limpahan Rahmat Allah *Subhanahuwata'ala*, serta saudara-saudariku Ary Qurniawan, Tri Winarti, S.E. Tahta Sintya, S. Pd. Putry Arysta dan seluruh keluarga besar yang telah mendoakan.
2. Prof. Dr. Ir. Salengke, M.Sc. selaku Dekan Fakultas Pertanian dan Dr. Ir. Vien Sartika Dewi, M.Si selaku Ketua Departemen Ilmu Hama dan Penyakit Tumbuhan, Universitas Hasanuddin
3. Prof. Dr. Ir. Tutik Kuswinanti, M.Sc. dan Prof. Dr. Ir. Andi Nasruddin, M.Sc. selaku pembimbing, atas segala kebaikan, keikhlasan, kesabaran dan ketulusannya mengarahkan, memberikan bimbingan, bantuan serta saran mulai dari penyusunan proposal penelitian hingga penyelesaian tesis ini.
4. Prof. Dr. Ir. Ade Rosmana, M.Sc., Dr. Ir. Untung Surapaty T., M.Sc. dan Muhammad Junaid, M.P., Ph.D. selaku tim penguji yang telah meluangkan

waktunya serta memberikan saran dan kritikan yang bersifat membangun sehingga tesis ini dapat terselesaikan dengan baik.

5. Pauline Destinugrainy Kasi, M.Sc., Suhaeni, M.Pd., Syarif Hidayat Amrullah, M.Sc., Ariandi, M.Si., Heni Mutmainnah, M.Biomed, Jirah Yunus, M.Kes., Serli Bongga, M.Kes., Dr. Ir. Suedi, M.P., Ilmiati Illing, M.Si., Sunarti Cambaba, M.Si. dan segenap keluarga dari Universitas Cokroaminoto Palopo yang senantiasa memberikan motivasi, saran dan semangat untuk menempuh pendidikan lanjut Strata 2 di Universitas Hasanuddin.
6. Segenap Para Pahlawan Tanpa Tanda Jasa keluarga besar SDN 188 Manunggal, SMPN 1 Luwu Timur, SMAN 10 Luwu Timur yang telah memberikan pengetahuan dasar, memberikan mimpi besar dan motivasi belajar untuk meraih cita-cita, semangat dan senyuman beliau akan selalu terkenang dihati.
7. Bapak dan Ibu dosen pengampu mata kuliah Program Magister Ilmu Hama dan Penyakit Tumbuhan Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin atas ilmu, didikan, dukungan, serta motivasi yang diberikan kepada Penulis dalam menempuh pendidikan Strata 2.
8. Para pegawai Fakultas Pertanian, Staf Laboratorium dan Administrasi Jurusan Ilmu Hama dan Penyakit Tumbuhan. Pak Kama, Pak Ardan, Pak Ahmad, Ibu Asriani, Ibu Tia, dan Kak Nurul Jihad yang telah banyak membantu meringankan beban Penulis dan memberi masukan dalam pelaksanaan penelitian, seminar proposal dan hasil penelitian hingga ujian akhir magister.
9. Teman-teman seperjuangan Magister Ilmu Hama dan Penyakit Tumbuhan angkatan 2021; Ainun Mardiyah Yasir, M.Si., Iftitah Kartika Amaliah, M.Si., Elsa Sulatri, M.Si. dan segenap senior Erwin Nadjamuddin, M.Si., Nur Fatma Sari, M.Si., Nursa'adah Armin, M.Si., Dessy Hartina F., M.Si., Ernawati, M.Si., Nur Azizah Salimah, M.Si., Terima kasih atas bantuan, kerjasama, pembelajaran serta motivasinya selama Penulis menempuh pendidikan program Strata 2.
10. Sahabat dan saudari seperjuangan Tri Sutriani Syam, S.Si., M.Biomed., Yantika, S.Si., Yuhensi, S.Si., Sulviani Firman, S.P., Furqon Saputra, S.Si. terimakasih untuk masa-masa kebersamaan, bantuan tenaga, pikiran dan motivasi, serta keluarga Angkatan 2015, Fakultas Sains, Universitas Cokroaminoto, kalian sahabat dan saudara/i yang luar biasa dan suatu

kesyukuran dapat mengenal Kalian. Penulis berharap Kalian akan selalu dalam lindungan Allah SWT, senantiasa diberikan kesehatan serta diberikan kemudahan atas apa yang dikerjakan dan dicita-citakan.

11. Teman-teman di Laboratorium Penyakit Penyakit Tumbuhan; Satriani Gassing, M.Si., Bau Mirta, M.P., Farida, M.Si., Putri Andani Batari, S.P. dan adik-adik yang sedang berjuang menyelesaikan pendidikan S.P., terima kasih telah berbagi tawa dan canda saat sedang penelitian dan memberi semangat selama hampir setahun dalam mengerjakan tesis ini.
12. Petani di Kecamatan Rongkong yang Penulis tidak sempat sebutkan. Semoga kebaikan Bapak/Ibu sekalian mendapat balasan yang setimpal oleh Allah *Subhanahuwata'ala*, terima kasih atas waktu dan arahnya.
13. Semua pihak yang tidak dapat Penulis sebutkan satu persatu atas kontribusi sehingga tesis ini terselesaikan dengan baik.

InsyaAllah kenangan indah serta suka duka selama menempuh Pendidikan Magister akan membekas selamanya dalam hati Penulis. Besar harapan Penulis apa yang tersaji dapat memberikan manfaat bagi Pembaca. Akhirnya dengan segala kerendahan hati Penulis menyadari masih banyak terdapat kekurangan, sehingga Penulis menyambut baik bila ada masukan perbaikan, saran dan kritik yang bersifat membangun demi kesempurnaan tesis ini.

Makassar, 13 Januari 2023

Lilis Minarseh

ABSTRAK

Lilis Minarseh. *Eksplorasi Cendawan Rizosfer Padi Aromatik Lokal Kabupaten Luwu Utara Sebagai Agens Pengendali Hayati Tiga Haplotipe *Pyricularia oryzae** (dibimbing oleh Tutik Kuswinanti dan Andi Nasruddin).

Penyakit blas (*Pyricularia oryzae*) merupakan penyakit utama yang menyebabkan kehilangan hasil yang besar pada pertanaman padi di dunia. Pengendalian penyakit menggunakan varietas tahan kurang efektif karena tingginya variasi genetik pada populasi *P. oryzae* di lapangan, serta penggunaan fungisida sintetik berdampak negatif terhadap keanekaragaman agen hayati. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi cendawan pada rizosfer padi organik di Kabupaten Luwu Utara yang bisa dimanfaatkan sebagai agens pengendali hayati terhadap tiga haplotipe *P. oryzae*. Isolasi cendawan rizosfer menggunakan metode pengenceran berseri dan metode cawan sebar. Identifikasi cendawan didasarkan pada karakter mikroskopis dan makroskopis. Uji genotipe 15 isolat *Pyricularia oryzae* menggunakan marka berbasis gen terkait sifat vilurensi yaitu Erg2 (1.440 bp), Pwl2 (900 bp) dan Cut1 (1.730bp). Pita DNA hasil amplifikasi yang muncul diskor dengan nilai 1 (ada) dan 0 (tidak ada). Pengujian isolat penghasil selulase menggunakan media Czapek Dox Yeast Agar (CDYA) yang ditambahkan dengan *carboxymethyl cellulose* (CMC) sedangkan untuk uji kitinase, media CDYA ditambahkan koloidal kitin. Dari 15 isolat *P. oryzae* asal Kabupaten Maros diperoleh 5 haplotipe, yaitu A-000 dan F-110 (masing-masing 4 isolat), C-011 sebanyak 3 isolat, D-111 dan G-100 sebanyak masing-masing 2 isolat. Dari total 12 isolat cendawan rhizosfer yang diisolasi, terdapat 6 isolat cendawan antagonis yang potensil menghambat pertumbuhan *P. oryzae* haplotipe C-011, D-111 dan F-110. Isolat *Trichoderma* sp. memiliki persentase penghambatan yang terbesar yaitu 72%–90% disusul oleh *Penicillium* sp. 1 dengan persentase daya hambat 62%–82%. *Penicillium* sp.2 memiliki nilai *hydrolysis capacity* (HC) enzim tertinggi sebesar 1.70 mm untuk selulase dan 1.19 mm untuk kitinase, disusul oleh *Paecilomyces* sp. HC index sebesar 1.52 mm untuk selulase dan 1.12 mm untuk kitinase.

Kata Kunci: *Cendawan rizosfer, haplotipe Pyricularia oryzae, in vitro, selulase, kitinase.*

ABSTRACT

Lilis Minarseh. *Exploration of Local Aromatic Rice Rhizosphere Fungi of North Luwu Regency as Biocontrol Agents of Three Haplotypes of Pyricularia oryzae* (supervised by Tutik Kuswinanti and Andi Nasruddin).

Blast disease (*Pyricularia oryzae*) is a major disease that causes large yield losses in rice cultivation around the world. Disease control using resistant varieties is less effective because of the high genetic variation in the *P. oryzae* population in the field, and the use of synthetic fungicides has a negative impact on the diversity of biological agents. This study aims to explore fungi in the rhizosphere of organic rice in North Luwu Regency which can be used as biological control agents against three haplotypes of *P. oryzae*. Isolation of rhizosphere fungi using serial dilution and spreading plate methods. Identification of fungal isolates is based on microscopic and macroscopic characters. The genotyping test of 15 *P. oryzae* isolates used gene-based markers related to virulence, namely Erg2 (1,440 bp), Pwl2 (900 bp), and Cut1 (1,730 bp). The amplified DNA bands that appear are scored with a value of 1 (present) and 0 (not present). Cellulase-producing isolates were tested using Czapek Dox Yeast Agar (CDYA) media added with Carboxymethyl Cellulose (CMC), while for the chitinase test, CDYA media was added with colloidal chitin. From 15 *P. oryzae* isolates from Maros Regency, 5 haplotypes were obtained, namely A-000 and F-110 (4 isolates each), 3 isolates C-011, and 2 isolates D-111 and G-100 each. From a total of 12 fungal isolates, there were 6 isolates of antagonistic fungi which had the potential to inhibit the growth of *P. oryzae* haplotypes C-011, D-111, and F-110. *Trichoderma* sp. isolates have the greatest inhibition percentage of 72%–90% followed by *Penicillium* sp. 1 with a percentage of inhibition of 62%–82%. *Penicillium* sp.2 had the highest enzyme Hydrolysis Capacity (HC) value of 1.70 mm for cellulase and 1.19 mm for chitinase, followed by *Paecilomyces* sp. with an HC index of 1.52 mm for cellulase and 1.12 mm for chitinase.

Keywords: *Rhizosphere fungi, Pyricularia oryzae haplotypes, in vitro, cellulase, chitinase.*

DAFTAR ISI

halaman

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACK.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	4
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Kegunaan Penelitian	5
1.5. Hipotesis Penelitian	5
1.6. Kerangka Pikir Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Produksi Padi.....	6
2.2. Penyakit Blas (<i>Prycularia oryzae</i>)	8
2.3. Gejala Penyakit Blas Pada Tanaman Padi.....	11
2.4. Pengendalian Hayati	13
2.5. Hubungan <i>Gen for Gen</i>	16
2.6. Metabolit Sekunder.....	18
2.6.1 Kitinase	20
2.6.2 Selulase	21
2.6.3 Glukanase	23
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	24
3.2. Alat dan Bahan	24
3.3. Prosedur Penelitian	25
3.3.1 Persiapan.....	25
3.3.2 Pembuatan media <i>potato dextrose agar</i> (PDA).....	26
3.3.3 Isolasi dan identifikasi cendawan rizosfer padi.....	27
3.4. Deteksi Gen virulensi isolat <i>Pyricularia oryzae</i> dengan Metode PCR.....	28
3.4.1 Isolasi DNA genom	28
3.4.2 Amplifikasi PCR	28
3.5. Uji Antagonis <i>In Vitro</i> Cendawan Rizosfer Terhadap Cendawan Patogen.....	30
3.6. Uji Aktivitas Kitinase dan Selulase Cendawan Antagonis	32
3.7. Analisis Data	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1. Hasil	34
4.1.1 Isolasi cendawan rizosfer padi	34
4.1.2 Hasil analisis PCR <i>Pyricularia oryzae</i>	35
4.1.3 Uji <i>in vitro</i> cendawan rizosfer terhadap <i>Prycularia oryzae</i>	36

4.1.4	Identifikasi cendawan antagonis asal rizosfer padi.....	40
4.1.5	Uji aktivitas selulase dan kitinase cendawan antagonis	47
4.2.	Pembahasan	49
4.2.1	Pengambilan sampel dan isolasi cendawan rizosfer padi	49
4.2.2	Hasil analisis PCR <i>Pyricularia oryzae</i>	50
4.2.3	Uji antagonis <i>in vitro</i> cendawan rizosfer terhadap <i>Pyricularia oryzae</i>	51
4.2.4	Identifikasi cendawan rizosfer hasil seleksi <i>in vitro</i>	53
4.2.5	Uji aktivitas kitinase dan selulase cendawan antagonis	56
BAB V PENUTUP		
5.1.	Kesimpulan	61
5.2.	Saran	61
DAFTAR PUSTAKA		62
LAMPIRAN		73

DAFTAR TABEL

nomor urut	halaman
1. Daerah asal perolehan <i>Pyricularia oryza</i> stok kultur Laboratorium Penyakit Tumbuhan, Universitas Hasanuddin	26
2. Skema penilaian <i>Ball Rating</i>	31
3. Pengelompokan haplotipe <i>Pyricularia oryzae</i> berdasarkan gen virulensi ...	36
4. Daya hambat cendawan rizosfer terhadap <i>Pyricularia oryzae</i> ras haplotipe C-011	38
5. Daya hambat cendawan rizosfer terhadap <i>Pyricularia oryzae</i> ras haplotipe D-111	38
6. Daya hambat cendawan rizosfer terhadap <i>Pyricularia oryzae</i> ras haplotipe F-011	39
7. Karakteristik morfologi isolat cendawan rizosfer Padi Varietas Remaja dan Varietas Bandarata	42
8. Tipe interaksi antagonis cendawan rizosfer padi terhadap <i>Pyricularia oryzae</i> haplotipe C-011	46
9. Tipe interaksi antagonis cendawan rizosfer padi terhadap <i>Pyricularia oryzae</i> haplotipe D-111	47
10. Tipe interaksi antagonis cendawan rizosfer padi terhadap <i>Pyricularia oryzae</i> haplotipe F-110	47
11. Cendawan rizosfer padi organik penghasil selulase dan kitinase berdasarkan zona inhibisi yang dihasilkan.	49

DAFTAR GAMBAR

nomor urut	halaman
1. Kerangka pikir penelitian	5
2. <i>Pyricularia oryzae</i> ; (a) <i>conidia</i> , (b) <i>conidiophores</i>	10
3. <i>Pyricularia oryzae</i> ; (a, b, c) <i>conidiophores</i> , (d, e) <i>conidia</i> (skala perbesaran mikroskop a, b, c, d, e: 10 μ m).....	10
4. Siklus hidup <i>Pyricularia oryzae</i>	11
5. Gejala <i>Pyricularia oryzae</i> pada tanaman padi berupa bercak pada; (a) buku batang, (b) daun, (c) leher malai, (d) bulir, (e) kolar daun	12
6. Lesi pada daun tanaman padi akibat <i>Pyricularia oryzae</i> ; (a) lesi lama, (b) lesi berbentuk gelendong, (c) lesi berbentuk diamond	12
7. Interaksi langsung antara alel resistensi (R)/kerentanan (r) inang dan alel avirulensi (A)/virulensi (a) patogen	18
8. Tahapan hidrolisis kitinase, (a) reaksi pemutusan ikatan β -1,4 pada bagian internal mikrofibril kitin, (b) reaksi pembebasan unit-unit D-asetilkitobiose oleh enzim eksokitinase, (c) reaksi pemutusan diasetilkitobiose, kitotriose dan kitotetraose dan menghasilkan monomer-monomer GlcNAc.....	20
9. Tahapan hidrolisis selulosa menjadi glukosa dengan selulase	22
10. Skema β -glucan mendegradasi enzim	23
11. Penempatan pengambilan titik sub lokasi sampel rizosfer padi	25
12. Uji antagonis (a) kontrol, (b) <i>dual culture</i> cendawan rizosfer dan <i>Pyricularia oryzae</i>	30
13. Kultur murni 12 isolat cendawan rizosfer padi	34
14. Amplifikasi DNA genomik <i>Pyricularia oryzae</i> menggunakan primer spesifik gen virulensi (Pwl2, Erg2 dan Cut1); (M) DNA ladder; (1-15), Isolat <i>P. oryzae</i>	35
15. <i>Pyricularia oryzae</i> haplotipe C-011; (a) makroskopis; (b) mikroskopis (i) konidia yang masih menempel dikonidiophore dengan dua septa, (ii) konidia dengan dua septa, perbesaran mikroskop 40x	36
16. <i>Pyricularia oryzae</i> haplotipe D-111; (a) makroskopis; (b) mikroskopis (i) hifa berseptata, (ii) konidia dengan dua septa, (iii) klamidospora, perbesaran mikroskop 40x	37
17. <i>Pyricularia oryzae</i> haplotype F-110; (a) makroskopis; (b) mikroskopis (i) konidia yang masih menempel dikonidiophore dengan dua septa, (ii) konidia dengan dua septa, perbesaran mikroskop	37
18. Isolat terpilih (a) makroskopis, (b) mikroskopis, (AR1) <i>Trichoderma</i> sp., (AR2) <i>Paecilomyces</i> sp., (AR3) <i>Penicillium</i> sp. 1, (AR4) <i>Aspergillus niger</i> , (AR5) <i>A. flavus</i> , (AR7) <i>Penicillium</i> sp. 2.....	41
19. <i>Dual culture</i> cendawan rizosfer dan <i>Pyricularia oryzae</i> haplotipe C-011; (i) 6 hsi, (ii) 12 hsi, (K) kontrol, (P) patogen, (A) cendawan antagonis, (AR1) <i>Trichoderma</i> sp., (AR2) <i>Paecilomyces</i> sp., (AR3) <i>Penicillium</i> sp. 1, (AR4) <i>Aspergillus niger</i> , (AR5) <i>A. flavus</i> , (AR7) <i>Penicillium</i> sp. 2.....	43
20. <i>Dual culture</i> cendawan rizosfer dan <i>Pyricularia oryzae</i> haplotipe D-011; (i) 6 hsi, (ii) 12 hsi, (K) kontrol, (P) patogen, (A) cendawan antagonis, (AR1) <i>Trichoderma</i> sp., (AR2) <i>Paecilomyces</i> sp., (AR3) <i>Penicillium</i> sp. 1, (AR4) <i>Aspergillus niger</i> , (AR5) <i>A. flavus</i> , (AR7) <i>Penicillium</i> sp. 2.....	44

21. <i>Dual culture</i> cendawan rizosfer dan <i>Pyricularia oryzae</i> haplotipe F-110; (i) 6 hsi, (ii) 12 hsi, (K) kontrol, (P) patogen, (A) cendawan antagonis, (AR1) <i>Trichoderma</i> sp., (AR2) <i>Paecilomyces</i> sp., (AR3) <i>Penicillium</i> sp. 1, (AR4) <i>Aspergillus niger</i> , (AR5) <i>A. flavus</i> , (AR7) <i>Penicillium</i> sp. 2.....	45
22. Pengamatan mekanisme antagonis secara mikroskopis perbesaran 40x, (A) hifa antagonis; (P) hifa <i>Pyricularia oryzae</i> ; (AR1, AR3) hifa antagonis melilit hifa patogen dan hifa patogen membengkak; (AR2, AR4, AR5, AR7) hifa patogen membengkak dan lisis.....	46
23. Aktivitas selulase, (AR1) <i>Trichoderma</i> sp., (AR2) <i>Paecilomyces</i> sp., (AR3) <i>Penicillium</i> sp. 1, (AR4) <i>Aspergillus niger</i> (AR5) <i>A. flavus</i> , (AR7) <i>Penicillium</i> sp.	48
24. Aktivitas kitinase, (AR1) <i>Trichoderma</i> sp., (AR2) <i>Paecilomyces</i> sp., (AR3) <i>Penicillium</i> sp. 1, (AR4) <i>Aspergillus niger</i> , (AR5) <i>A. flavus</i> , (AR7) <i>Penicillium</i> sp. 2	48

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara agraris sehingga sebagian besar penduduk memiliki mata pencaharian disektor pertanian (Warsani, 2013). Pertumbuhan penduduk yang terus meningkat menjadi tantangan untuk menjaga keseimbangan produksi pangan. Luas panen padi pada 2021 mencapai sekitar 10,41 juta ha, mengalami penurunan sebanyak 245,47 ribu ha atau 2,30% dibandingkan luas panen padi di 2020 yang sebesar 10,66 juta ha. Produksi padi pada 2021 yaitu sebesar 54,42 juta ton GKG, mengalami penurunan sebanyak 233,91 ribu ton atau 0,43% dibandingkan produksi padi di 2020 yang sebesar 54,65 juta ton GKG. Produksi beras pada 2021 untuk konsumsi pangan penduduk mencapai 31,36 juta ton, mengalami penurunan sebanyak 140,73 ribu ton atau 0,45% dibandingkan produksi beras di 2020 yang sebesar 31,50 juta ton (BPS Indonesia, 2022).

Luas panen padi di Sulawesi Selatan pada tahun 2021 mencapai 0,99 juta ha, mengalami kenaikan sebanyak 8,9 ribu ha atau 0,91% dibandingkan 2020 sebesar 0,98 juta ha. Produksi padi di Sulawesi Selatan pada 2021 yaitu sebesar 5,09 juta ton GKG, mengalami kenaikan sebanyak 382,2 ribu ton GKG atau 8,12% dibandingkan 2020 yang sebesar 4,71 juta ton GKG. Produksi beras pada 2021 untuk konsumsi pangan penduduk mencapai 2,92 juta ton, mengalami kenaikan sebanyak 219,3 ribu ton atau 8,12% dibandingkan produksi beras pada 2020 sebesar 2,7 juta ton. Sementara itu, luas panen padi pada Januari 2022 mencapai 0,03 juta hektar dan potensi panen sepanjang Februari hingga April 2022 diperkirakan seluas 0,42 juta ha. Dengan demikian, total luas panen padi pada *subround* Januari–April 2022 diperkirakan mencapai 0,46 juta ha atau mengalami kenaikan sekitar 0,1 juta ha (28,1%) dibandingkan luas panen padi pada *subround* Januari–April 2021 yang sebesar 0,36 juta ha. Pada Januari 2022, produksi padi diperkirakan sebesar 0,16 juta ton GKG dan potensi produksi padi sepanjang Februari–April 2022 mencapai 2,1 juta ton GKG. Dengan demikian, total potensi produksi padi pada *subround* Januari–April 2022 diperkirakan mencapai 2,26 juta ton GKG atau mengalami kenaikan sebanyak

0,48 juta ton GKG (26,76%) dibandingkan 2021 yang sebesar 1,79 juta ton GKG (BPS Sulsel, 2022).

Blas merupakan salah satu penyakit penting pada tanaman padi yang disebabkan oleh cendawan *Pyricularia oryzae* dan menyerang beberapa bagian tanaman padi dengan gejala berupa bercak pada daun (*leaf blast*), buku batang (*node blast*), leher malai (*neck blast*), bulir padi (*spikelet blast*) dan kolar daun (*collar rot*), penyakit blas mampu menyerang pada semua fase pertumbuhan tanaman padi (BB PADI, 2015). Gejala berat di bagian buku batang dapat menyebabkan batang padi menjadi patah sehingga menyebabkan kematian bagian batang di atas buku yang terinfeksi (Yulianto, 2017). Pada kondisi lingkungan yang mendukung, varietas padi yang terinfeksi parah dengan tingkat intensitas yang tinggi, baik oleh penyakit blas daun maupun blas leher malai dapat menyebabkan tanaman puso (Nasution dan Usyati, 2015). Daerah yang mengalami penambahan jumlah serangan tertinggi ialah Kabupaten Sinjai, Kabupaten Luwu Timur, Kabupaten Luwu Utara, Kabupaten Maros dan Kabupaten Pangkep (Salimah *et al.*, 2021).

Penyakit blas pada tanaman padi dapat dikendalikan menggunakan beberapa teknik pengendalian salah satunya adalah teknik budidaya tanaman, penanaman varietas tahan dan penggunaan fungisida. Pada umumnya pengendalian yang dilakukan oleh petani menggunakan fungisida sintetik yang dapat menimbulkan dampak negatif, seperti matinya mikroorganisme yang bukan sasaran sehingga berkurangnya keanekaragaman hayati dan membuat lingkungan menjadi tercemar serta menyebabkan ekosistem menjadi terganggu (Yulianto, 2017). Menurut Subakti (2018), pestisida yang digunakan kurang lebih hanya 20% mengenai target sedangkan 80% sisanya akan jatuh ke tanah dan mencemari lingkungan, hal ini berbahaya secara langsung maupun tidak langsung bagi makhluk hidup yang terdapat di lahan. Salah satu pengendalian yang ramah lingkungan yaitu pengendalian hayati berbasis mikroorganisme antagonis. Menurut Prasetyo *et al.* (2017), penggunaan mikroorganisme antagonis sebagai agensia hayati berpotensi tinggi dalam menghambat serangan patogen dan mampu beradaptasi serta berkolonisasi pada perakaran tanaman. Pengendalian secara preventif sangat penting dilakukan sehingga dapat mengurangi resiko terjadinya serangan hama dan penyakit yang dapat menurunkan hasil produksi tanaman.

Varietas padi lokal merupakan varietas padi yang dibudidayakan oleh masyarakat disuatu daerah yang tidak terdapat didaerah lain sehingga varietas padi tersebut telah beradaptasi serta memiliki karakteristik spesifik meliputi kelemahan dan keunggulan. Varietas padi aromatik lokal Kabupaten Luwu Utara merupakan salah satu hasil produksi pertanian unggulan di Kabupaten Luwu Utara karena dibudidayakan secara organik dan memiliki aroma yang khas. Padi aromatik lokal Kabupaten Luwu Utara dibudidayakan di Kecamatan Rongkong, Kecamatan Seko dan Kecamatan Rampi merupakan wilayah kategori terencil yang berada diketinggian 1.000–1.800 m dpl serta berada disegitiga perbatasan antara Provinsi Sulawesi Selatan, Sulawesi Barat dan Sulawesi Tengah, namun demikian daerah tersebut memiliki potensi pertanian yang sangat baik untuk dikembangkan. Padi aromatik lokal Kabupaten Luwu Utara terdiri atas Varietas Bandarata, Banjara, Dambo, Jamborana, Paresale, Parekamba, Remaja dan Tarone dengan umur tanaman sampai enam bulan (DTPHP LuTra, 2018). Pertanian padi yang dilakukan secara organik diharapkan terjaganya kelimpahan agen hayati khususnya bersifat bioindikator, biofertilizer dan biokontrol.

Agen hayati berpengaruh terhadap tanaman, patogen serta lingkungan. Pengaruh agen hayati terhadap tanaman yaitu kemampuan melindungi tanaman dan mendukung pertumbuhan tanaman (Sopialena, 2018). Tanaman menyediakan nutrisi dalam bentuk eksudat akar yang diperlukan untuk pertumbuhan agen hayati. Pemanfaatan agen hayati untuk menekan pertumbuhan cendawan patogen sudah banyak dilakukan, karena memiliki dampak positif terhadap lingkungan. Aplikasi agen hayati tidak meninggalkan residu dan menyebabkan resistensi tanaman terhadap penyakit (Zuraidah, 2020). Sementara itu bagi tanaman agen hayati dapat menekan pertumbuhan patogen. Faktor biotik maupun abiotik sangat berperan dalam kelangsungan hidup agen pengendali hayati seperti suhu, derajat keasaman, kelembaban dan beberapa komponen lainnya (Sopialena, 2018). Kusumawati dan Istiqomah (2020), menyatakan bahwa perlakuan agen hayati mampu menurunkan persentase keparahan penyakit, menurunkan persentase daun yang terserang dan memperpanjang masa inkubasi penyakit blas.

Cendawan rizosfer memiliki peranan penting sebagai agen pengendali hayati serta memiliki kemampuan memproduksi enzim kitinase dan enzim selulase, sehingga penting mengisolasi dan identifikasi pada lahan pertanaman padi aromatik yang hidup pada ekosistem alami dan diharapkan dapat diperoleh

spesies cendawan yang beragam utamanya yang bersifat *plant growth promoting fungi* (PGPF). PGPF merupakan cendawan disekitaran perakaran yang memacu pertumbuhan tanaman (Abri *et al.*, 2015). Oleh karena itu penting dilakukan penelitian Studi Keragaman Cendawan Rizosfer Padi Aromati Lokal Kabupaten Luwu Utara Sebagai Agens Pengendali Hayati Penyakit Blas (*Pyricularia oryzae*).

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, maka dapat dirumuskan permasalahan yang menjadi acuan dalam melaksanakan penelitian yaitu:

- 1.2.1 Apakah terdapat keragaman cendawan rizosfer pertanaman padi aromatik di Kabupaten Luwu Utara?
- 1.2.2 Apakah cendawan rizosfer yang diperoleh dapat berperan sebagai cendawan antagonis *in vitro* terhadap tiga haplotipe *Pyricularia oryzae*?
- 1.2.3 Bagaimanakah interaksi antagonis serta aktivitas kitinase dan selulase pada cendawan rizosfer?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

- 1.3.1 Mengetahui keragaman cendawan rizosfer pertanaman padi aromatik di Kecamatan Rongkong, Kabupaten Luwu Utara.
- 1.3.2 Mengetahui kemampuan isolat cendawan rizosfer dalam menghambat pertumbuhan tiga haplotipe *Pyricularia oryzae* secara *in vitro*.
- 1.3.3 Mengetahui interaksi antagonis serta aktivitas kitinase dan selulase pada cendawan rizosfer.

1.4. Kegunaan Penelitian

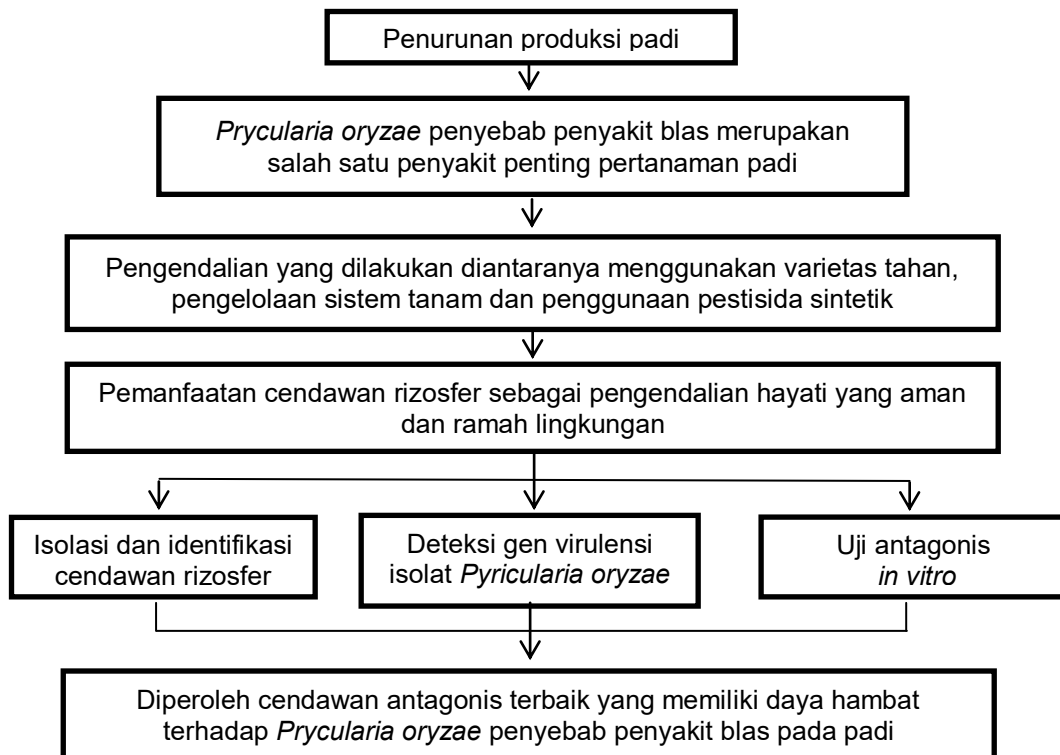
Hasil penelitian ini diharapkan berguna bagi pemulia tanaman serta para peneliti yang membutuhkan sumber informasi dalam pemanfaatan cendawan

antagonis rizosfer sebagai agen pengendali hayati terhadap tiga haplotipe *Pyricularia oryzae*.

1.5. Hipotesis

Hipotesis pada penelitian ini adalah terdapat satu atau lebih isolat cendawan rizosfer pertanaman padi di Kabupaten Luwu Utara yang berpotensi menghambat pertumbuhan secara *in vitro* terhadap tiga haplotipe *Pyricularia oryzae* serta terdapat interaksi antagonis dan aktivitas kitinase dan selulase cendawan rizosfer.

1.6. Kerangka Pikir Penelitian



Gambar 1. Kerangka pikir penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Produksi Padi

Komoditas utama dan unggulan pertanian Indonesia antara lain padi, jagung, kedelai, cengkih, kakao, kapas, karet, kayu manis, kelapa, kelapa sawit, kemiri, kopi, lada, pala, tebu, teh, tembakau dan vanili (Murjoko, 2017). Padi (*Oryza sativa*) menempati posisi penting sebagai tanaman pangan yang menjadi sumber makanan pokok sebagian besar penduduk dunia (Lestari *et al.*, 2012). FAO (2016), melaporkan bahwa produksi padi di 4 negara pengonsumsi beras terbesar di Asia pada tahun 2015 mencapai 200 juta ton di Cina, 170 juta ton di India, 50 juta ton di Indonesia dan 20 juta ton di Bangladesh. Data tersebut menunjukkan bahwa padi merupakan komoditas penting yang intensif dibudidayakan di negara-negara tersebut. Intensifikasi penanaman padi menyebabkan beberapa masalah seperti timbulnya penyakit tanaman (Zulaika *et al.*, 2018).

Luas panen padi pada 2021 mencapai sekitar 10,41 juta ha, mengalami penurunan sebanyak 245,47 ribu ha atau 2,30% dibandingkan luas panen padi di 2020 yang sebesar 10,66 juta ha. Produksi padi pada 2021 yaitu sebesar 54,42 juta ton GKG, mengalami penurunan sebanyak 233,91 ribu ton atau 0,43% dibandingkan produksi padi di 2020 yang sebesar 54,65 juta ton GKG. Produksi beras pada 2021 untuk konsumsi pangan penduduk mencapai 31,36 juta ton, mengalami penurunan sebanyak 140,73 ribu ton atau 0,45% dibandingkan produksi beras di 2020 yang sebesar 31,50 juta ton. Luas panen padi pada Januari 2022 mencapai 468,30 ribu ha dan potensi panen sepanjang Februari–April 2022 diperkirakan seluas 4,34 juta ha. Dengan demikian, total luas panen padi pada *subround* Januari–April 2022 diperkirakan mencapai 4,81 juta ha atau mengalami kenaikan sekitar 380,37 ribu ha (8,58%) dibandingkan luas panen padi pada *subround* Januari–April 2021 yang sebesar 4,43 juta ha. Pada Januari 2022, produksi beras diperkirakan sebanyak 1,39 juta ton beras dan potensi produksi beras sepanjang Februari–April 2022 sebesar 13,24 juta ton. Dengan demikian, potensi produksi beras pada *subround* Januari–April 2022 diperkirakan mencapai 14,63 juta ton beras atau mengalami kenaikan sebesar 1,05 juta ton

(7,70%) dibandingkan dengan produksi beras pada Januari–April 2021 yang sebesar 13,58 juta ton beras (BPS Indonesia, 2022).

Luas panen padi di Sulawesi Selatan pada tahun 2021 mencapai 0,99 juta ha, mengalami kenaikan sebanyak 8,9 ribu ha atau 0,91% dibandingkan 2020 sebesar 0,98 juta ha. Produksi padi di Sulawesi Selatan pada 2021 yaitu sebesar 5,09 juta ton GKG, mengalami kenaikan sebanyak 382,2 ribu ton GKG atau 8,12% dibandingkan 2020 yang sebesar 4,71 juta ton GKG. Produksi beras pada 2021 untuk konsumsi pangan penduduk mencapai 2,92 juta ton, mengalami kenaikan sebanyak 219,3 ribu ton atau 8,12% dibandingkan produksi beras pada 2020 sebesar 2,7 juta ton. Sementara itu, luas panen padi pada Januari 2022 mencapai 0,03 juta hektar dan potensi panen sepanjang Februari hingga April 2022 diperkirakan seluas 0,42 juta ha. Dengan demikian, total luas panen padi pada *subround* Januari–April 2022 diperkirakan mencapai 0,46 juta ha atau mengalami kenaikan sekitar 0,1 juta ha (28,1%) dibandingkan luas panen padi pada *subround* Januari–April 2021 yang sebesar 0,36 juta ha. Pada Januari 2022, produksi padi diperkirakan sebesar 0,16 juta ton GKG dan potensi produksi padi sepanjang Februari–April 2022 mencapai 2,1 juta ton GKG. Dengan demikian, total potensi produksi padi pada *subround* Januari–April 2022 diperkirakan mencapai 2,26 juta ton GKG atau mengalami kenaikan sebanyak 0,48 juta ton GKG (26,76%) dibandingkan 2021 yang sebesar 1,79 juta ton GKG (BPS Sulsel, 2022).

Penurunan produksi padi (ribu ton–GKG) yang cukup besar terjadi di beberapa wilayah seperti Kab. Gowa (2020; 249,68 pada 2021; 237,86), Kab. Barru (2020; 135,27 pada 2021; 123,60) dan Kab. Soppeng (2020; 275,38 pada 2021; 269,15). Di sisi lain, terdapat beberapa kabupaten/kota yang mengalami peningkatan produksi padi relatif besar (ribu ton–GKG) misalnya Kab. Wajo (2020; 569,84 pada 2021; 669,20), Kab. Jeneponto (2020; 116,72 pada 2021; 163,22) dan Kab. Bone (2020; 771,45 pada 2021; 808,28). Tiga kabupaten/kota dengan total produksi padi tertinggi pada 2021 adalah Kab. Bone (808,28), Kab. Wajo (669,20) dan Kab. Pinrang (553,36). Sementara itu, tiga kabupaten/kota dengan produksi padi terendah (ribu ton–GKG) ialah Kota Parepare (2020; 4,34 pada 2021; 423), Kab. Kepulauan Selayar (2020; 7,48 pada 2021; 10,40) dan Kota Makassar (2020; 13,06 pada 2021; 10,40) (BPS Sulsel, 2022).

2.2. Penyakit Blas (*Pyricularia oryzae*)

Klasifikasi dari cendawan *Pyricularia oryzae* penyebab penyakit blas sebagai berikut (CABI, 2021):

Domain : Eukaryota
Kingdom : Fungi
Phylum : Ascomycota
Subphylum : Pezizomycotina
Class : Sordariomycetes
Subclass : Sordariomycetidae
Family : Magnaporthacea
Genus : Magnaporthe
Species : *Magnaporthe oryzae*
Sinonim : *Dactylaria oryzae* (Cavara) Sawada, (1917)
Pyricularia grisea Sacc., (1880)
Pyricularia oryzae Cavara, (1891)

Penyakit blas disebabkan oleh cendawan *Pyricularia oryzae* Cav. [teleomorph *Magnaporthe oryzae* (Hebert Barr)] merupakan salah satu penyakit penting yang menyerang pertanaman padi di seluruh dunia (Suprpta *et al.*, 2014). Patogen ini selain menginfeksi pertanaman padi juga dapat merusak pertanaman serealia lain seperti gandum, sorgum dan lebih dari 40 spesies Gramineae (Santoso dan Nasution, 2012). *P. oryzae* dapat menginfeksi tanaman padi di semua tahap pertumbuhan dalam lingkungan yang kondusif. Wang *et al.* (2014), melaporkan penurunan hasil padi di Jepang akibat penyakit blas sekitar 60%, di Brasil pernah mencapai 100%, India 7,5%, Korea 8%, Cina 14%, Filipina 67%, Vietnam 60%, Italia 24% dan Iran 50%. Pertanian pertanaman padi di Indonesia pada tahun 2015 terserang penyakit blas mencapai 46.924 ha atau 9,25% dari total luas areal pertanaman padi (DITJEN TP, 2015).

Awalnya penyakit blas di Indonesia hanya diketahui menyerang padi gogo tetapi saat ini sudah ditemukan menginfeksi pertanaman padi sawah. Penyakit blas dilaporkan banyak ditemukan pada padi sawah irigasi, terutama di Jawa Barat, Jawa Tengah serta Jawa Timur (Zulaika *et al.*, 2018). Di Sulawesi Selatan, total luas serangan penyakit blas pada 24 kabupaten/kota dari tahun 2004–2013 mencapai 12.056 ha. Total luas serangan blas tertinggi terdapat pada 3

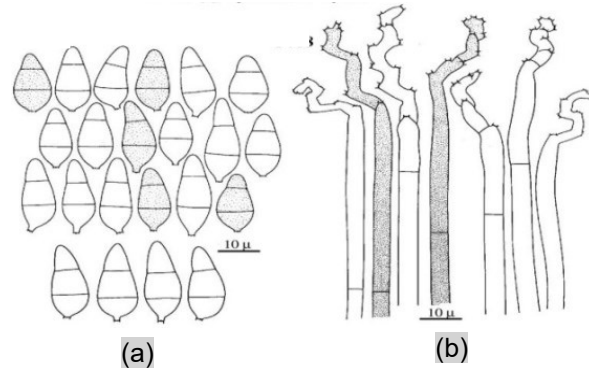
kabupaten yaitu Kabupaten Sinjai (5.993 ha), Kabupaten Maros (1.814 ha) dan Kabupaten Bone (1.023 ha) (Rusique, 2021).

Pengendalian penyakit blas padi menggunakan varietas tahan terbilang efektif, namun varietas tahan hanya efektif dalam jangka pendek karena munculnya ras *Pyricularia oryzae* baru (Wang *et al.* 2014). Munculnya ras (patotipe) baru *P. oryzae* dapat merubah sifat virulensinya dalam waktu singkat sebagai akibat perubahan genetik (*haplotype*) secara alami yang terjadi secara kontinyu karena adanya berbagai faktor tekanan lingkungan dan faktor inang (Celik *et al.*, 2021). Keragaman fisiologi ras (patotipe) diklasifikasikan berdasar pada reaksi tanaman diferensial yang masing-masing memiliki gen ketahanan yang mampu membedakan patogenesitas isolat yang diuji, sedangkan keragaman genetik (*haplotype*) salah satunya dapat diketahui melalui analisis DNA patogen dengan marka molekuler *Polymerase Chain Reaction* (PCR) (Bencheqroun *et al.*, 2022). Di Indonesia penggunaan penanda spesifik berbasis PCR yang terkait dengan virulensi seperti Cut1, Erg2 dan Pw12 dapat digunakan untuk mendeteksi variasi genetik (*haplotype*) patogen tanaman (Kuratta *et al.*, 2021).

Tiga pasang primer SCAR yaitu Cut1, Pw12, dan Erg2 telah digunakan. Di Indonesia untuk menunjukkan keragaman genetik *Pyricularia oryzae* dari beberapa daerah endemik blas (Reflinur *et al.*, 2005). Gen Cut1 merupakan lokus yang menjadikan gen *cutinase* berfungsi sebagai pendegradasi lapisan kutikula tanaman. Gen Erg2 berperan sebagai penyandi metabolit sekunder pada cendawan yang menjadi target antifungal pada sel tanaman, sedangkan Pw12 dikenal sebagai gen avirulen yang bersifat spesifik inang. Ketiga gen tersebut banyak digunakan sebagai marka DNA yang dikenal sebagai *sequence characterized amplified region* (SCAR). Keragaman fenotipe Cut1 dan Pw12 mungkin disebabkan oleh mutasi, yaitu dengan keberadaan aktivitas semacam elemen transposon. Mutasi dan rekombinasi merupakan sumber utama bagi cendawan patogen tumbuhan dalam menghasilkan variasi genetik, seperti halnya pada kebanyakan organisme (Soubabere *et al.*, 2001).

Pyricularia oryzae menghasilkan spora seksual (*askospora*) dalam struktur yang disebut *asci* dan diklasifikasikan kedalam *Family Magnaporthaceae*. *Asci* ditemukan dalam struktur khusus disebut *perithecia*. Miselium dari *P. oryzae* berseptata dan spora bersifat haploid. Reproduksi secara seksual atau teleomorph dari cendawan *P.oryzae* dapat diproduksi di Laboratorium jika isolat dari jenis

yang berbeda dipasangkan. Cendawan ini bersifat heterotalik dengan sistem reproduksi bipolar (dikendalikan oleh dua alel yang berbeda pada lokus tunggal) dengan gen tambahan mengendalikan siklus seksual (Tebeest *et al.*, 2007).

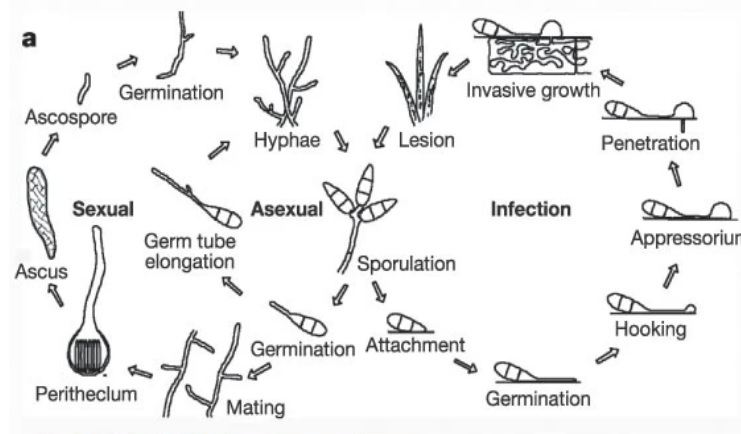


Gambar 2. *Pyricularia oryzae*; (a) *conidia*, (b) *conidiophores* (Mycobank: 224486)



Gambar 3. *Pyricularia oryzae*; (a, b, c) *conidiophores*, (d, e) *conidia* (skala perbesaran mikroskop a, b, c, d, e: 10μm) (Mycobank: 224486)

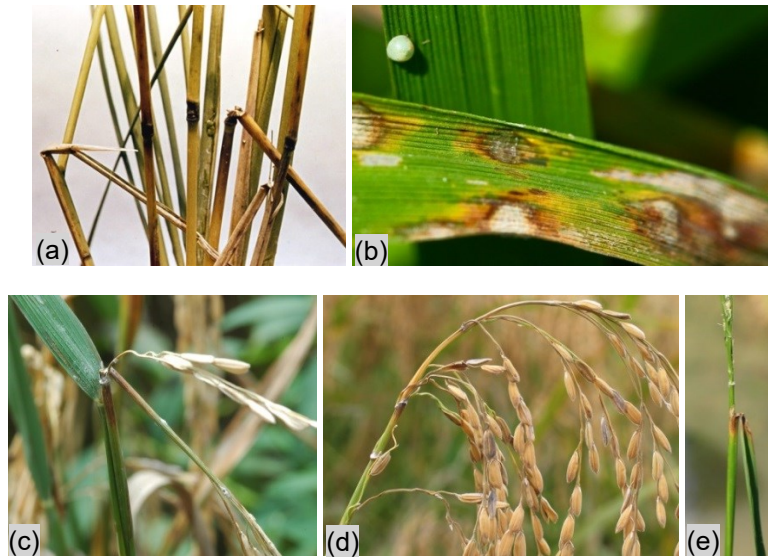
Secara morfologi, cendawan *Pyricularia oryzae* mempunyai konidia berbentuk bulat, lonjong, tembus cahaya, dan bersekat dua (3 ruangan). Konidia cendawan *P. oryzae* akan berkecambah pada kondisi optimum dengan cara membentuk buluh-buluh perkecambahan yang selanjutnya menjadi appresoria. Appresoria akan menembus kutikula daun dengan bantuan melanin yang ada pada dinding appresoria. Proses penetrasi appresoria pada kondisi optimum berlangsung selama 8–10 jam (Chumley dan Valent, 1990 dalam Rianingsih 2017).



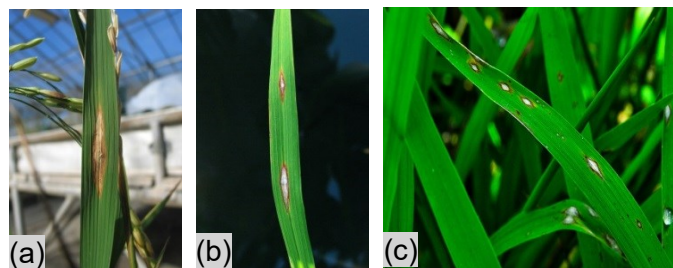
Gambar 4. Siklus hidup *Pyricularia oryzae* (Dean *et al.*, 2005).

2.3. Gejala Penyakit Blas Pada Tanaman Padi

Penyakit Blas menyerang beberapa bagian tanaman padi dengan gejala berupa bercak pada daun (*leaf blast*), buku batang (*node blast*), leher malai (*neck blast*), bulir padi (*spikelet blast*) dan kolar daun (*collar rot*), penyakit blas mempunyai kemampuan menyerang pada semua fase pertumbuhan tanaman padi (BBPADI, 2015). Gejala berat di bagian buku batang dapat menyebabkan batang padi menjadi patah sehingga menyebabkan kematian bagian batang di atas buku yang terinfeksi (Yulianto, 2017). Apabila busuk di bagian leher malai terjadi pada awal pertumbuhan bulir akan menyebabkan malai mati secara prematur, putih dan kosong secara menyeluruh namun apabila gejala serangan terjadi setelah pembentukan bulir akan menyebabkan pengisian bulir tidak sempurna dan kualitas biji menjadi rendah (Sudir *et al.*, 2014). Pada kondisi lingkungan yang mendukung, varietas padi yang terinfeksi parah dengan tingkat intensitas yang tinggi, baik oleh penyakit blas daun maupun blas leher malai dapat menyebabkan tanaman puso (Nasution dan Usyati, 2015). Infeksi penyakit Blas pada daun terjadi setelah fase anakan maksimum 15 sampai 20 anakan, terlihat bahwa sebagian lokasi pertanaman padi saat mencapai anakan maksimum tangkai malainya banyak yang patah dan bulirnya hampa. Pada stadia generatif terutama saat pengisian biji sering ditemukan gejala penyakit blas leher malai dan jika gejala penyakit ini terus berlanjut menyebabkan leher malai berwarna coklat kehitaman sehingga terlihat seperti terkena letupan api (*blas*) (Ulate *et al.*, 2020).



Gambar 5. Gejala *Pyricularia oryzae* pada tanaman padi berupa bercak pada; (a) buku batang, (b) daun, (c) leher malai, (d) bulir, (e) kolar daun (Manzanilla *et al.*, 2014).



Gambar 6. Lesi pada daun tanaman padi akibat *Pyricularia oryzae*; (a) lesi lama, (b) lesi berbentuk gelendong, (c) lesi berbentuk persegi diamond (Manzanilla *et al.*, 2014).

Penyebaran penyakit dimulai ketika spora cendawan menginfeksi dan menghasilkan bercak pada tanaman padi dan berakhir ketika cendawan bersporulasi dan menyebarkan spora baru melalui udara. Apabila kondisi lingkungan menguntungkan, satu siklus dapat terjadi dalam waktu sekitar 1 minggu. Selanjutnya dari satu bercak dapat menghasilkan ratusan sampai ribuan spora dalam satu malam dan dapat terus menghasilkan spora selama lebih dari 20 hari. Pada kondisi suhu dan kelembapan yang mendukung, cendawan patogen ini dapat bereproduksi dan menghasilkan kelimpahan spora yang semakin banyak pada akhir musim. Tingkat inokulum yang tinggi ini sangat berbahaya bagi tanaman padi yang rentan (Rajput *et al.*, 2017).

Penyebaran spora *Pyricularia oryzae* dapat terjadi melalui angin, benih, sisa gabah, jerami tanaman sakit, sisa tanaman padi di lapangan dan tanaman

inang lainnya, terutama dari golongan gramineae/rerumputan (Santoso dan Nasution, 2012). Walaupun dalam suatu periode tidak ada pertanaman padi, namun apabila di sekitar lahan tersebut terdapat gulma yang merupakan inang patogen ini menjadi sumber inokulum pada padi sawah musim berikutnya. Selain itu sumber spora juga banyak yang berasal dari sisa-sisa jerami padi yang terinfeksi penyakit blas (Ulate *et al.*, 2020).

Tingginya intensitas serangan penyakit ini disebabkan oleh keadaan suhu, kelembaban dan curah hujan dalam mendukung perkembangan penyakit. Suhu dan kelembaban yang ideal untuk kemampuan sporulasi lesio patogen ini adalah 25°C–28°C sedangkan kelembaban yang cocok adalah 89%–93% (Bevitori dan Ghini, 2015). Menurut (Ullah *et al.*, 2011), rata-rata curah hujan yang sesuai untuk perkembangan penyakit ini adalah >80 mm. Masa inkubasi dari penyakit ini 5–6 hari pada suhu 26°C– 28°C. Suhu optimum pada proses infeksi sama dengan suhu optimum untuk pertumbuhan miselia, sporulasi dan perkecambahan spora. Ras-ras cendawan penyebab penyakit blas yang berkembang di alam ternyata sangat banyak dan mudah mengalami perubahan komposisi genetik melalui mutasi membentuk ras baru yang berubah keganasannya. Masing-masing ras memiliki keganasan (virulensi) yang berbeda, bergantung pada varietas yang ditanam dan tergantung kondisi lingkungan mikro sekitar pertanaman padi. Ras patogen blas memiliki kemampuan beradaptasi cepat terhadap lingkungan fisik dan kimia di lahan pertanaman padi sehingga memiliki kemampuan adaptasi terhadap pestisida yang diaplikasikan. Akibatnya keefektifan fungisida terhadap patogen blas menjadi berbeda di lokasi yang berbeda dengan dominasi ras patogen blas yang berbeda (Yulianto, 2017).

2.4. Pengendalian Hayati

Penyakit blas pada tanaman padi dapat dikendalikan menggunakan beberapa teknik pengendalian salah satunya adalah teknik budi daya tanaman, penanaman varietas tahan dan penggunaan fungisida sintetik (Yulianto, 2017). Akhsan dan Palupi (2015), menyatakan bahwa besarnya keparahan penyakit blas pada varietas Inpari 7, Cibogo dan Ciherang pada minggu pertama sebesar 5%, 3% dan 3.6%. Pada minggu ke-12 keparahan penyakit meningkat menjadi 82%, 23% dan 57% yang disebabkan semakin tua umur tanaman maka jumlah

anakan dan daun tanaman padi semakin banyak yang menyebabkan kelembapan mikro di sekitar tanaman padi semakin meningkat. Hal ini memberi kondisi optimum pada patogen untuk terus berkembang. Faktor umur tanaman yang panjang memberi kesempatan bagi patogen untuk memperbanyak pengulangan siklus hidupnya sehingga intensitas penyakit semakin meningkat (Zulaika *et al.*, 2018). Penggunaan pupuk N yang berlebihan akan menghasilkan jumlah anakan tanaman padi lebih banyak sehingga menjadikan iklim mikro yang kondusif bagi perkembangan penyakit blas (Shafaullah *et al.*, 2011).

Sistem pengendalian yang tepat ialah dengan menanam varietas tahan tidak monogenik (1 atau 2 varietas) secara luas dan terus menerus serta melakukan pergiliran tanaman. Penggunaan varietas tahan harus disesuaikan dengan sebaran ras disuatu daerah. Beberapa varietas padi yang tahan terhadap beberapa ras patogen penyebab penyakit blas diantaranya adalah Inpari 21, Inpari 26, Inpari 27, Inpago 4, Inpago 5, Inpago 6, Inpago 7 dan Inpago 8. Beberapa varietas yang berbeda tingkat ketahanannya ditanam pada suatu areal, dapat mengurangi tekanan seleksi terhadap patogen, sehingga dapat memperlambat terjadinya ras baru patogen dan patahnya ketahanan suatu varietas. Variabel lainnya adalah pengembalian jerami ke lahan pertanaman padi dengan tujuan penyehatan lahan. Pengembalian jerami padi harus dikomposkan terlebih dahulu, pengomposan jerami dapat menyebabkan miselia dan spora cendawan mati karena naiknya suhu selama proses dekomposisi (BB PADI, 2015). Pengembalian jerami ke lahan dapat memperlambat kehilangan unsur hara seperti Si dan K di dalam tanah. Komponen unsur hara Si dan K juga berfungsi untuk meningkatkan ketegaran jaringan tanaman sehingga dapat mengurangi infeksi patogen (Zulaika *et al.*, 2018).

Jarak tanam yang tidak terlalu rapat atau sistem legowo sangat dianjurkan untuk membuat kondisi lingkungan tidak menguntungkan bagi patogen penyebab penyakit, kemudian didukung dengan cara pengairan berselang (*intermiten*). Sistem tersebut akan mengurangi kelembaban sekitar kanopi tanaman, mengurangi terjadinya embuan dan air gutasi serta menghindarkan terjadinya gesekan antar daun. Pertanaman yang selalu rapat akan menciptakan kondisi lingkungan terutama suhu, kelembaban dan aerasi yang lebih menguntungkan bagi perkembangan penyakit, selain itu pertanaman yang rapat akan mempermudah terjadinya infeksi dan penularan dari satu tanaman ketanaman lain (BB PADI, 2015). Faktor ketinggian tempat juga menunjukkan pengaruh

terhadap tingkat keparahan penyakit blas. Semakin tinggi lokasi suatu lahan pertanian maka suhu akan semakin rendah (Zulaika *et. al.*, 2018).

Perlakuan benih dengan fungisida untuk pengobatan benih hanya bertahan selama enam minggu, selanjutnya perlu dilakukan penyemprotan tanaman. Beberapa fungisida yang disarankan adalah Benomyl 50WP, Mancozeb 80%, Carbendazim 50%, Isoprotiolan 40% dan Trisikazole 20% efektif menekan perkembangan *Pyricularia oryzae*. Penyemprotan dengan fungisida sebaiknya dilakukan dua kali pada saat stadia tanaman padi anakan maksimum dan awal berbunga (BB PADI, 2015).

Pengendalian oleh petani pada umumnya menggunakan fungisida sintetik yang dapat menimbulkan dampak negatif, seperti matinya organisme yang bukan sasaran sehingga berkurangnya keanekaragaman hayati dan membuat lingkungan menjadi tercemar dan menyebabkan ekosistem menjadi terganggu (Yulianto, 2017). Menurut Subakti (2018), pestisida yang digunakan kurang lebih hanya 20% mengenai target sedangkan 80% sisanya akan jatuh ke tanah dan mencemari lingkungan, hal ini berbahaya secara langsung maupun tidak langsung bagi makhluk hidup yang terdapat di lahan. Penggunaan pupuk dan pestisida kimia berdampak negatif terhadap lingkungan sehingga menurunkan kualitas kesuburan tanah dan produktivitas pertanian (Istiqomah, 2013). Penggunaan bahan kimia sintetik pada lahan pertanian padi dapat menyebabkan pelemahan jaringan tanaman padi sehingga memudahkan patogen *Pyricularia oryzae* untuk menginfeksi menyebabkan efek resistensi terhadap hama dan penyakit maupun gulma, menyebabkan keracunan pada tanaman utama, menghambat pertumbuhan tanaman padi serta menyebabkan pencemaran air, tanah maupun udara (Swamy *et al.*, 2009).

Salah satu pengendalian yang ramah lingkungan yaitu pengendalian hayati berbasis mikroorganisme antagonis (Lestari *et al.*, 2021). Pengendalian secara preventif sangat penting dilakukan sehingga dapat mengurangi resiko terjadinya serangan hama dan penyakit yang dapat menurunkan hasil produksi tanaman. Pengaruh agen hayati terhadap tanaman yaitu kemampuan melindungi tanaman dan mendukung pertumbuhan tanaman (Sopialena, 2018). Menurut Prasetyo *et al.*, (2017), penggunaan mikroorganisme antagonis sebagai agensia hayati berpotensi tinggi dalam menghambat serangan patogen dan mampu beradaptasi serta berkolonisasi pada bagian tanaman. Tanaman menyediakan nutrisi agen hayati dalam bentuk eksudat akar yang diperlukan untuk pertumbuhannya.

Pemanfaatan agen hayati untuk menekan pertumbuhan cendawan patogen tidak meninggalkan residu dan menyebabkan resistensi tanaman terhadap penyakit (Zuraidah, 2020).

Agensia hayati dapat berupa cendawan rizosfer yang terdapat di sekitar perakaran tanaman padi. Rizosfer merupakan bagian pertemuan antara akar dengan tanah yang relatif kaya akan nutrisi atau unsur hara dan banyak terdapat cendawan serta mikroorganisme lainnya (Meiniwati *et al.*, 2014). Keberadaan mikroorganisme antagonis pada daerah rizosfer dapat menghambat persebaran dan infeksi akar oleh patogen, keadaan ini disebut hambatan alamiah mikroba. Selain itu faktor biotik maupun abiotik sangat berperan dalam kelangsungan hidup agens pengendali hayati seperti suhu, pH, kelembaban dan beberapa komponen lainnya (Sopialena, 2018). Pengendalian hayati menggunakan agen antagonis dengan aplikasi secara berkala dapat menekan pertumbuhan dan perkembangan patogen untuk jangka waktu yang relatif panjang tanpa menimbulkan pencemaran lingkungan (Lestari *et al.*, 2021).

Banyak jenis cendawan dapat diisolasi dari rizosfer tanaman budidaya seperti padi, cabai, kentang, tembakau dan jagung. Cendawan tersebut dapat memacu pertumbuhan tanaman sehingga termasuk dalam kelompok *plant growth promoting fungi* (PGPF) (Abri *et al.*, 2015). Cendawan rizosfer sebagai salah satu faktor biotik memiliki kemampuan menginduksi ketahanan tanaman terhadap penyakit dan juga dapat menyuburkan tanaman (sebagai biofertilizer) (Fety, *et al.*, 2015). Kusumawati dan Istiqomah (2020), melaporkan bahwa perlakuan agens hayati mampu menurunkan persentase keparahan penyakit, menurunkan persentase daun yang terserang dan memperpanjang masa inkubasi penyakit blas yang disebabkan oleh *Pyricularia oryzae*. Lestari *et al.* (2021), menyatakan bahwa efikasi agens hayati *Trichoderma* sp. dan *Gliocladium* sp. mampu menghambat pertumbuhan *P. oryzae* penyebab penyakit blas secara signifikan yaitu sebesar 67.04 % dan 51.85%.

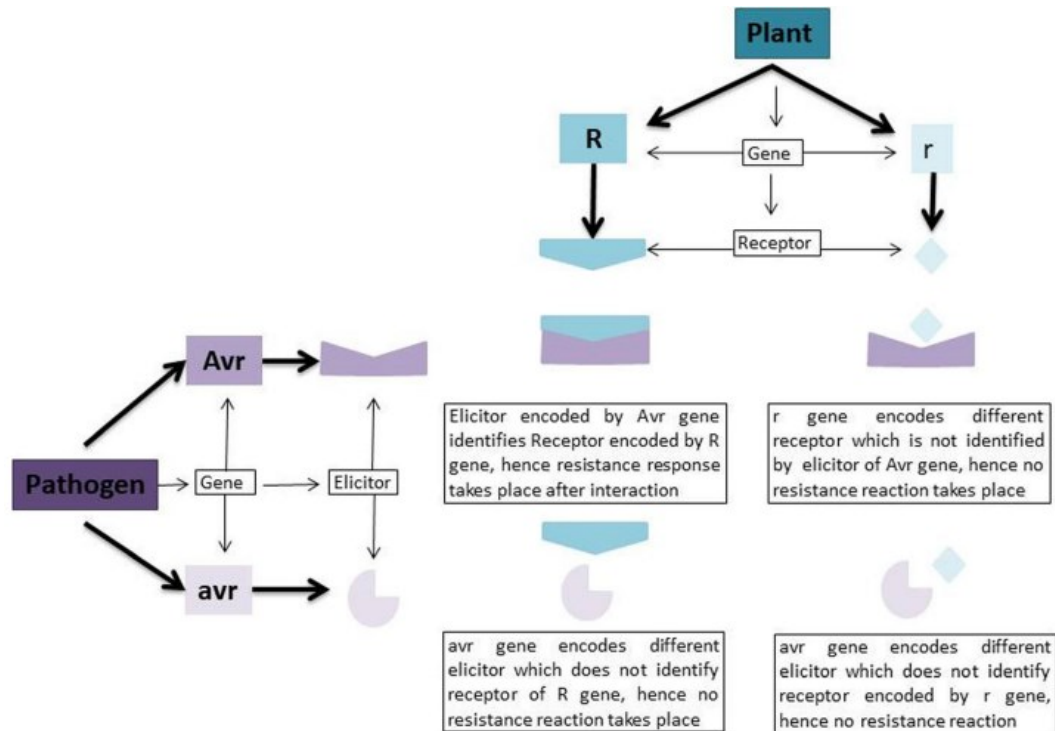
2.5. Hubungan Gen for Gen

Koeksistensi tanaman inang dan patogennya di alam menunjukkan bahwa keduanya telah berkembang bersama. Setiap gen virulen pada patogen, selalu ada gen yang akan merespon terhadap gen virulen tersebut sehingga tanaman

menjadi tahan demikian pula sebaliknya, dimana setiap ada gen ketahanan dari tanaman selalu ada gen yang akan merespon gen ketahanan tersebut pada patogen (Sopialena, 2017). Hubungan gen-ke-gen merupakan dasar biokimia dan genetik penyakit tanaman serta beberapa komponen yang terlibat dalam interaksi tanaman-patogen. Biffen (1905), adalah orang pertama yang menyatakan bahwa ketahanan patogen penyebab penyakit pada tanaman dikendalikan oleh gen resesif. Teori yang menjelaskan dasar biokimia untuk hubungan *gen for gen* yaitu model elisitor-reseptor. Protein elisitor dikodekan oleh gen avirulensi (*avr*) patogen tanaman yang berinteraksi dengan molekul reseptor yang dikodekan oleh resistensi komplementer (*R*) gen tanaman inang. Interaksi langsung elisitor dihasilkan oleh (*Avr*) gen patogen dan reseptor yang diproduksi oleh (*R*) gen inang ditunjukkan pada gambar 7. Peristiwa pengenalan atau lebih tepatnya pengikatan protein elisitor-reseptor merupakan langkah kunci dalam membuat inang menjadi resisten atau rentan. Pada kombinasi gen pertama (*AR*), reseptor host yang dikodekan gen mengidentifikasi molekul elisitor yang dikodekan oleh patogen (*Avr*) gen dan mengaktifkan reaksi pertahanan, membuat inang kebal. Selanjutnya pada kombinasi gen kedua (*Avr*) tuan rumah tidak memiliki reseptor untuk *elicitor*. Patogen menghasilkan elisitor tetapi tidak ada reseptor di inang, karenanya tidak ada reaksi pertahanan yang dipicu yang membuat inang rentan. Pada kombinasi gen ketiga (*aR*), reseptor yang dikodekan gen tidak menemukan elisitor untuk dikenali, sehingga tidak ada reaksi pertahanan yang dipicu dan gen virulensi bekerja (inang rentan). Pada kombinasi gen (*ar*), reaksi pertahanan bukan inang dipicu membuat inang menjadi rentan karena baik penghasil patogen tidak dibuat maupun reseptor inang tidak ada (gambar 7) (Kaur *et al.*, 2021).

Elisitor umum menginduksi pertahanan baik pada tanaman inang maupun bukan inang, sedangkan elisitor spesifik mampu memicu respons pertahanan hanya pada kultivar inang tertentu yang menyebabkan resistensi penyakit di dalamnya. Berbagai jenis elisitor termasuk polimer karbohidrat, lipid, *glicopeptida*, *glicoprotein* dan *flagellin*. Elisitor (*Avr*) bereaksi secara langsung atau tidak langsung dengan molekul yang dihasilkan oleh ketahanan tanaman yang cocok (*R*) gen. Hubungan gen-ke-gen dapat terjadi apabila terdapat ubungan yang tidak kompatibel yaitu alel resistensi (*R*) di inang dan avirulensi (*avr*) pada patogen menghasilkan molekul yang secara khusus mengenali satu sama lain dan menghasilkan respons resistensi di dalam inang. Hubungan yang

kompatibel apabila alel kerentanan (r) dalam inang dan alel virulensi (avr) dalam patogen menghasilkan molekul spesifik yang berinteraksi satu sama lain untuk menghasilkan respons yang rentan (Bent dan Mackey, 2007).



Gambar 7. Interaksi langsung antara alel resistensi (R)/kerentanan (r) inang dan alel avirulensi (A)/virulensi (a) patogen (Kaur *et al.*, 2021).

Protein (R) dikenal sebagai protein penjaga/resisten. Ketika efektor (Av) gen mengganggu protein penjaga, maka protein (R) mengaktifkan resistensi. Setiap gen pada patogen hanya dapat dikenali oleh gen komplementnya pada inang dan sebaliknya. Perlu diketahui bahwa produk protein dari gen *avirulence* adalah elisitor yang dikenali oleh produk protein dari gen resistensi yaitu reseptor. (R) direkayasa untuk melawan patogen penyebab penyakit pada tanaman menggunakan berbagai pendekatan konvensional dan alat bioteknologi (Kaur *et al.*, 2021).

2.6. Metabolit Sekunder

Metabolit sekunder dapat berperan sebagai pelindung yakni meningkatkan kebugaran reproduktif tumbuhan melalui penghambatan pertumbuhan

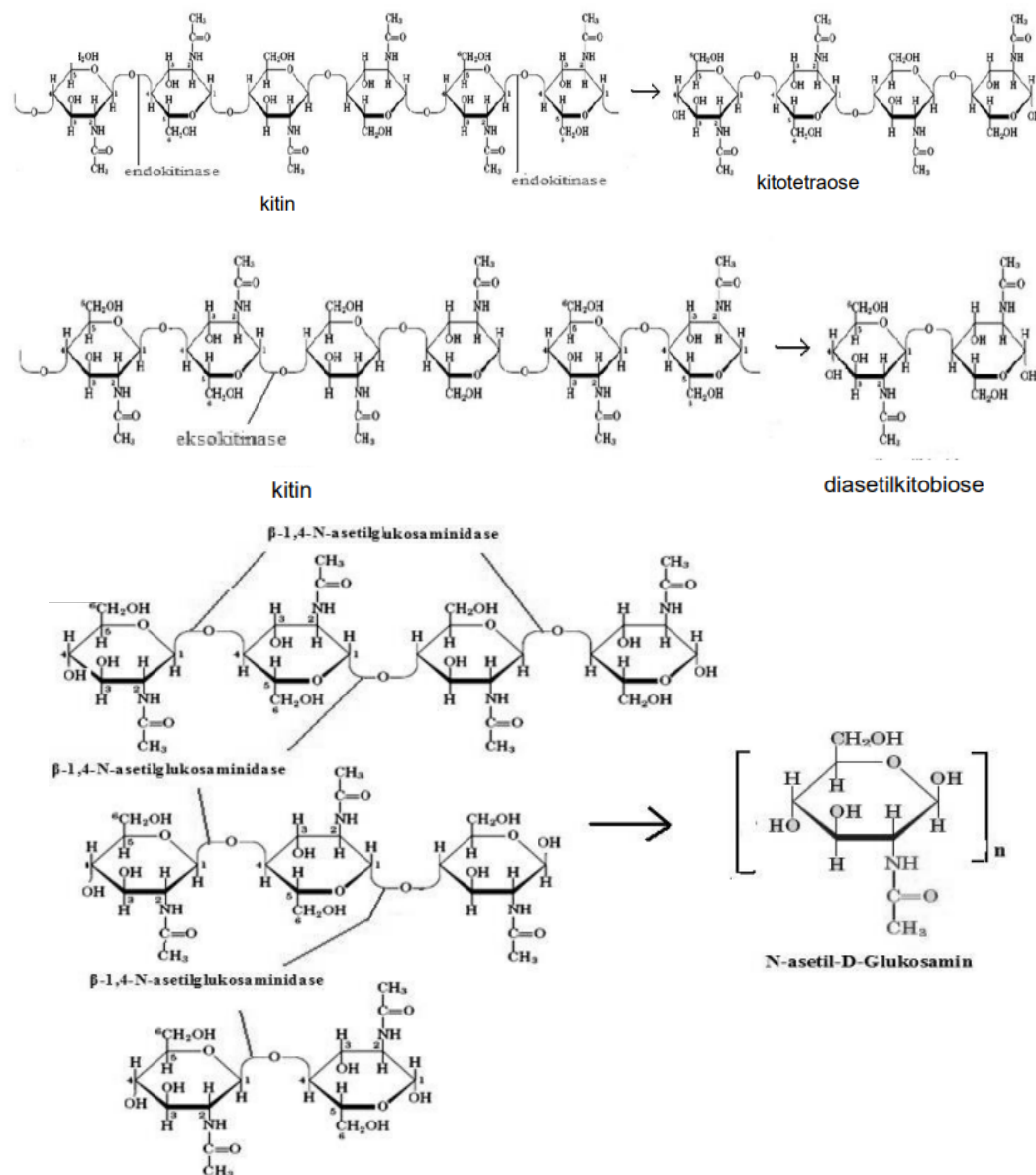
cendawan, bakteri, dan herbivora. Atraktan (bau, warna, rasa) untuk polinator dan hewan penyebar biji. Perlindungan dari sinar UV dan penyimpanan–N. Salah satu produk metabolit sekunder yang memiliki fungsi ini adalah fitoaleksin. Jeandet (2015) menyatakan bahwa fitoaleksin merupakan senyawa antimikroba berberat molekul rendah yang dihasilkan oleh tumbuhan sebagai respon terhadap cekaman biotik dan abiotik. Dari sel-sel rusak dan nekrotik (sel yang mati sebelum waktunya) akan dikeluarkan suatu zat yang berdifusi ke dalam sel sehat di sekitarnya sehingga muncul respon dari sel sehat berupa pengeluaran fitoaleksin. Fitoaleksin akan menjadi pertahanan tumbuhan saat terakumulasi/menumpuk dalam jumlah yang cukup untuk mencegah perkembangan patogen.

Enzim merupakan biokatalis yang berperan penting dalam semua tahap metabolisme dan berbagai reaksi biokimia. Pemanfaatan enzim dalam menghidrolisis polimer telah banyak dikembangkan di bidang industri maupun pertanian sebagai upaya efisiensi produksi. Mikroba rizosfer menghasilkan berbagai macam enzim hidrolitik dan fitohormon untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman (Utami *et al.*, 2020). Enzim hidrolitik tersebut merupakan enzim ekstraseluler yang dilepaskan oleh mikroba ke lingkungan, sehingga rizosfer menjadi salah satu sumber yang menjanjikan untuk eksplorasi mikroba penghasil enzim ekstraseluler (Tangapo dan Mambu, 2021).

Menurut Santoso dan Sumarni (2008), mekanisme antibiosis ditandai adanya warna kuning pada pertemuan miselium dengan jamur patogen yang terjadi pada uji antagonis. Hambatan pertumbuhan cendawan patogen disebabkan dinding sel lisis oleh jamur antagonis. Cendawan antagonis menghasilkan enzim untuk menghambat dinding sel patogen. Dinding sel *Pyricularia oryzae* tersusun atas 3 unsur pokok yaitu kitin, glukukan dan proteoheteroglycan (Nakajima *et al.*, 1970 dalam Lestari *et al.*, 2021). Mekanisme antibiosis terjadi karena adanya metabolit sekunder yang diproduksi oleh mikrobia berupa antibiotik dan mikotoksin. Menurut Noveriza (2008), mikotoksin merupakan metabolit sekunder hasil metabolisme cendawan serta bersifat sitotoksik, merusak struktur sel seperti membran serta merusak proses pembentuk sel seperti protein. Secara alamiah sejumlah jamur menghasilkan mikotoksin selama proses metabolismenya.

2.6.1 Kitinase.

Kitinase merupakan enzim yang umum diproduksi (ubiquitous) sel bakteri, cendawan, hewan dan tumbuhan. Hidrolisis polimer kitin sebagai salah satu komponen dinding sel hifa cendawan dapat menghambat pertumbuhan hifa. Oleh sebab itu, kitinase dikenal sebagai salah satu protein anti cendawan (Wang *et al.*, 2005).



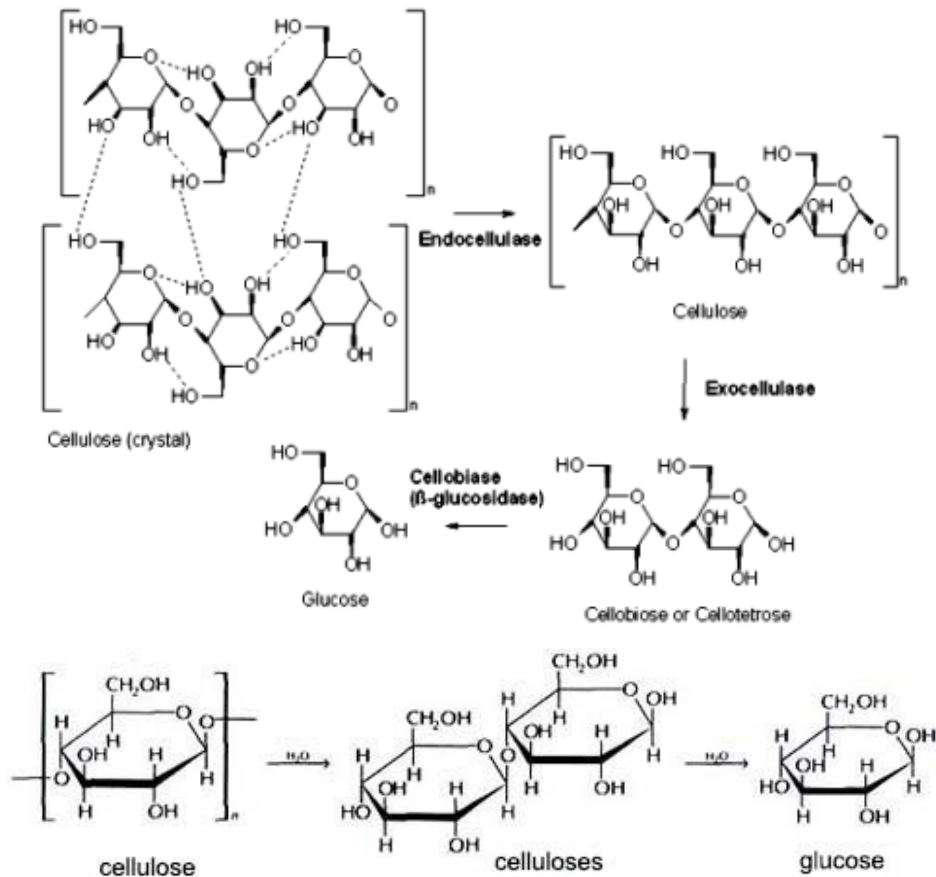
Gambar 8. Tahapan hidrolisis kitinase, (a) reaksi pemutusan ikatan β -1,4 pada bagian internal mikrofibril kitin, (b) reaksi pembebasan unit-unit D-asetilkitobiose oleh enzim eksokitinase, (c) reaksi pemutusan diasetilkitobiose, kitotriose dan kitotetraose dan menghasilkan monomer-monomer GlcNAc (Patil *et al.*, 2000).

Berdasarkan cara kerja hidrolisis, kitinase dikelompokkan menjadi tiga tipe utama (Brurberg *et al.*, 1996 dalam Pudjihartati *et al.*, 2006) yaitu (i) endokitinase yang memotong secara acak polimer kitin secara internal sehingga menghasilkan oligomer pendek, (ii) eksokitinase (1,4- β -kitobiosidase) yang memotong unit trimer kitobiosa pada ujung terminal polimer kitin dan (iii) (N-asetilglukosaminase) yang memotong unit monomer pada ujung terminal polimer kitin. Corneliyawati *et al.* (2018), mengungkapkan bahwa kitinase dapat dimanfaatkan sebagai agens pengendalian cendawan patogen tanaman ataupun agen pengurai limbah berkitin. Kitin pada cendawan merupakan komponen utama penyusun dinding sel cendawan Kelas Ascomycetes, Basidiomycetes dan Deuteromycetes.

Kandungan kitin pada cendawan bervariasi tergantung spesies atau strain cendawan. Kitin pada dinding sel cendawan berkisar antara 22%–40% (Corneliyawati *et al.*, 2018). Beberapa genera cendawan yang mampu menghasilkan kitinase diantaranya adalah *Fusarium*, *Mucor*, *Mortierella*, *Trichoderma*, *Aspergillus*, *Gliocladium*, *Penicillium*, *Thamnidium*, *Absidia*, *Stachbotrys elegans* (Tweddell *et al.*, 1994 dalam Corneliyawati *et al.*, 2018), *Verticillium biguttatum* (McQuilken dan Gemmell, 2004) dan *Trichothecium roseum* (Li *et al.*, 2004 dalam Corneliyawati *et al.*, 2018). Kitinase untuk merombak kitin menjadi monopolimer (N-asetilglukosamin) maka dinding sel cendawan akan lebih mudah lisis akibat ikatan polimernya telah terpotong. Hal ini menyebabkan pertumbuhan dinding sel *Pyricularia oryzae* terhambat bahkan terhenti pada hari ke-7 (Meiniwati *et al.*, 2014).

2.6.2 Selulase

Selulase adalah sekelompok enzim yang memecah selulosa menjadi monomer glukosa maupun senyawa lain seperti glukukan. Glukan adalah polimer linier dari karbohidrat yang tersusun dari monomer glukosa dengan ikatan β -1,3 maupun β -1,6-glukan, polimer ini banyak terdapat pada dinding sel cendawan. Glukanase merupakan enzim golongan hidrolitik yang dapat menghidrolisis senyawa glukukan. Sebagian besar glukanase adalah endoglukanase yang dapat menghasilkan oligomer dengan panjang rantai antara 2–6 unit glukosa dari substrat laminarin (Katatny *et al.*, 2000).



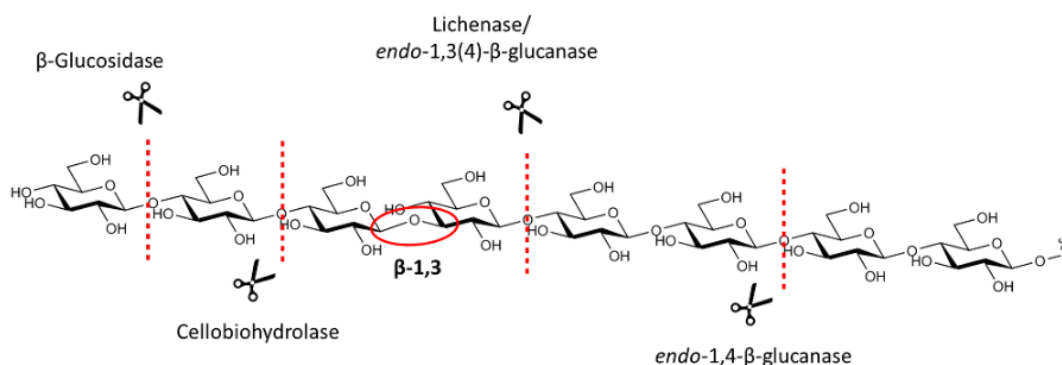
Gambar 9. Tahapan hidrolisis selulosa menjadi glukosa dengan enzim selulase (Wang *et al.*, 2012).

Selulase terdiri dari kompleks eksoglukanase, endoglukanase dan β -glukosidase, yang merombak selulosa menjadi selubiosa hingga menjadi glukosa (Gunam *et al.*, 2011). Sebagian glukosa yang dihasilkan digunakan oleh cendawan sebagai sumber karbon dan sebagian masih terkandung dalam media tumbuh (Adebayo dan Carrera, 2015). Gozan (2014), endo β -1,4-D glukanase (endoselulase), yakni enzim yang memecah ikatan internal glikosidik untuk memutuskan struktur kristalin pada selulosa dan membuka rantai polisakarida. Endo β -1,4-glukanase mempengaruhi secara serentak ikatan β -1,4 di dalam makromolekul menghasilkan potongan-potongan besar berbentuk rantai dengan ujung bebas. Exo β -1,4-D glukanase menjadi exo β -1,4-D cellobiohidrolase, yakni enzim yang memecah dimer selubiosa dari rantai *glucan* dan melepaskannya ke dalam larutan untuk menghasilkan tetrasakarida atau disakarida. Ekso- β -1,4 glukanase memotong mulai dari ujung-ujung rantai menjadi disakarida selubiosa. β -glukosidase (selobiase), yakni enzim yang menghidrolisis produk eksoselulase berupa selubiosa menjadi monomer glukosa.

Salah satu mikroorganisme utama yang dapat memproduksi selulase adalah cendawan berfilamen seperti *Trichoderma* sp. dan *Aspergillus* sp. merupakan cendawan selulolitik yang mempunyai kemampuan mensekresi enzim selulase lebih banyak dari pada bakteri (Hu, *et al.*, 2011; Damaso *et al.*, 2012 dalam Larasati *et al.*, 2015).

2.6.3 Glukanase

Glukanase dapat menghidrolisis β -glukan yang merupakan salah satu komponen utama penyusun dinding sel cendawan (Adams, 2004). Hidrolisis β -glukan pada dinding sel cendawan dapat menurunkan integritas dinding sel, sehingga cendawan tidak mampu menginfeksi tanaman (Shetty *et al.*, 2009). Glukanase bekerja pada ikatan β -glikosidik dalam struktural β -glukan. Penggolongan enzim ini cukup beragam tergantung pada ikatan glikosidik yang dihidrolisisnya. β -glukanase yang menghidrolisis ikatan β -1,3 dikenal sebagai laminarinase (Doxey *et al.*, 2007), sedangkan yang menghidrolisis ikatan β -1,4 lebih dikenal sebagai endo-cellulase (Nishiyama *et al.*, 2001). Aktivitas β -glukanase yang lebih kompleks lichenase dapat menghidrolisis kedua jenis ikatan glikosidik tersebut (Wolf, 1991 dalam Manzila *et al.*, 2015). Kespesifikasikan aktivitas β -glukanase tergantung pada perbedaan struktur geometri molekul glukan. Umumnya cendawan dan bakteri mengandung glukan pada dinding selnya yang dapat didegradasi oleh enzim golongan glukanolitik. Salah satu contoh cendawan yang mengekspresikan enzim glukanase adalah *Trichoderma* sp. bersifat mikoparasit secara khusus menghasilkan enzim pendegradasi dinding sel patogen tanaman.



Gambar 10. Skema β -glukan mendegradasi enzim.