

**INDUKSI KETAHANAN TANAMAN JAGUNG
DENGAN APLIKASI FUNGI MIKORIZA ARBUSKULA
Glomus etunicatum TERHADAP PENYAKIT BULAI
(*Peronosclerospora philippinensis*)**

**INDUCTION OF MAIZE RESISTANCE BY APPLICATION
ARBUSCULAR MYCORRHYZA FUNGI *Glomus etunicatum*
AGAINST DOWNY MILDEW (*Peronosclerospora
philippinensis*)**

ERWIN NAJAMUDDIN



**PROGRAM PASCA SARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2023

**INDUKSI KETAHANAN TANAMAN JAGUNG
DENGAN APLIKASI FUNGI MIKORIZA ARBUSKULA
Glomus etunicatum TERHADAP PENYAKIT BULAI
(*Peronosclerospora philippinensis*)**

**Tesis
Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Magister**

**Program Studi
Ilmu Hama dan Penyakit Tumbuhan**

Disusun dan diajukan oleh

Erwin Najamuddin

Kepada

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

TESIS

INDUKSI KETAHANAN TANAMAN JAGUNG DENGAN APLIKASI FUNGI MIKORIZA ARBUSKULA *Glomus etunicatum* TERHADAP PENYAKIT BULAI (*Peronosclerospora philippinensis*)

Disusun dan diajukan oleh

ERWIN NAJAMUDDIN
Nomor Pokok G022202002

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis

Pada tanggal 05 Januari 2023

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui
Komisi Penasihat,

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

Prof. Dr. Ir. Ade Rosmana, DEA
Anggota

Ketua Program Studi
Ilmu Hama dan Penyakit Tumbuhan



Dr. Ir. Vien Sartika Dewi, M.Si

Dekan Fakultas Pertanian
Universitas Hasanuddin



Prof. Dr. Ir. Salengke, M.Sc

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertandatangan dibawah ini

Nama : ERWIN NAJAMUDDIN

Nomor Mahasiswa : G022202002

Program Studi : ILMU HAMA DAN PENYAKIT TUMBUHAN

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

Makassar, 05 Januari 2023

Yang menyatakan



ERWIN NAJAMUDDIN

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warohmatullahi wabarokatuh...

Kami ucapkan puji syukur serta nikmat kepada Allah Subhanawataala atas rahmat-Nya yang melimpah sehingga kami bisa menyelesaikan Tesis yang berjudul **induksi ketahanan tanaman jagung dengan aplikasi fungi mikoriza arbuskula *Glomus etunicatum* terhadap penyakit bulai (*Peronosclerospora philippinensis*)**.

Tesis ini dibuat untuk memenuhi kewajiban kami sebagai mahasiswa pascasarjana di Universitas Hasanuddin dan sebagai bagian dari pertanggungjawaban kami untuk kemajuan ilmu pengetahuan khususnya di bidang pertanian. Dalam pelaksanaan riset dan penyusunan tesis ini, tentu tak lepas dari kendala sehingga pengarahan dan bimbingan dari berbagai pihak menjadi bagian dari solusi atas kendala tersebut.

Dalam kesempatan ini penulis dengan tulus menyampaikan terima kasih kepada :

1. Ayahanda tercinta Najamuddin HR. SE dan Ibunda tersayang Jaisah Rauf, A.md serta Saudara dan Saudariku Armansyah A.Md, Arlianita, SE dan Irwan Wahyudin, S.Kom yang telah memberikan doa, dukungan, cinta dan kasih sayang yang tidak ternilai harganya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini dengan sebaik-baiknya.
2. Teruntuk Istri dan anak anak saya tercinta Nurul aisyah, SP., Aiza nuhaa Salsabila dan Ridwan Ahmad Mujahid yang telah membantu dalam segala hal dari awal perkuliahan sampai sekarang ini, dan juga

memberikan doa, dukungan, cinta dan kasih sayang yang tidak ternilai sehingga penulis dapat menyelesaikan studinya dengan baik.

3. Mertua saya Alm. Nasruddin Razak, SE dan Nurhidayah Halik dan seluruh saudara istri saya (Khairiman, SPi. M.Si, Budiman, S.Pi, Marwah Pratiwi, SP., M.Si dan Hamdana Nasruddin, SH) atas doa, dukungan, cinta dan kasih sayang yang tidak ternilai.
4. Bapak Ir. Hatta Muhammad, M.Si, Bapak Dr. Ir. Awaludin Hipi, M.Si, Bapak Dr. Amin Nur, SP, M.Si, Prof. Dr. Ir. Muhammad Azrai, M.Si, Ibu Dr. Sumarni Panikkai, SP. M.Si, atas segala kontribusi, support dan dukungan selama penulis menjalani proses studi.
5. Terima Kasih kepada Ibu Prof. Dr. Ir. Tutik Kuswinanti selaku pembimbing I dan Bapak Prof. Dr. Ir. Ade Rosamana, DEA. selaku pembimbing II yang dengan sabar dan ikhlas meluangkan waktu, tenaga dan pikiran demi membimbing penulis sejak awal penelitian hingga selesainya tesis ini.
6. Terima Kasih kepada Prof. Dr. Ir. Nur Amin., Dipl. Eng. M.Sc, Ibu Dr. Ir. Melina, M.Si dan Muhammad Junaid, SP., M.Sc., Phd. selaku tim penguji yang telah memberikan kritik, saran dan kemudahan bagi penulis dalam menyempurnakan tesis ini.
7. Bapak dan Ibu Dosen Departemen Hama dan Penyakit Tumbuhan atas ilmu dan didikannya selama penulis menempuh pendidikan.

8. Rekan sekaligus sahabat-sahabat penulis di kantor Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Gorontalo dan Balai Penelitian Tanaman Serealia di Maros.
9. Para Pegawai dan Staf Laboratorium Departemen Hama dan Penyakit Tumbuhan. Ibu Rahmatia, SH., Pak Ardan, Pak Kamaruddin, Nurul dan Ibu Ani yang telah membantu administrasi dan jalannya proses pendidikan penulis.
10. Sahabat-sahabat penulis yang telah membantu jalannya penelitian ini dan juga memberi kritik, saran, dukungan dan semangat agar tesis ini dapat terselesaikan dengan baik.
11. Teman-teman seperjuangan S2 “Koloni 2020_Genap” yang telah membersamai perkuliahan selama ini.
12. Serta semua pihak yang namanya tidak dapat disebutkan satu persatu, terima kasih atas segala bentuk bantuan, dukungan dan perhatiannya hingga tesis ini dapat terselesaikan dengan baik.

Banyak masalah pertanian yang belum mendapat solusi optimal sehingga tanggungjawab kita Bersama di bidang pertanian untuk dapat mengembangkan teknologi dan inovasi. Semoga tesis ini bermanfaat bagi kita semua.

Wassalamualaikum Warohmatullahi Wabarokatuh....

Makassar, 05 Januari 2023



ERWIN NAJAMUDDIN

ABSTRAK

ERWIN NAJAMUDDIN. *Induksi ketahanan tanaman jagung dengan aplikasi fungi mikoriza arbuskula *Glomus etunicatum* terhadap penyakit bulai (*Peronosclerospora philippinensis*) (dibimbing oleh Tutik Kuswinanti dan Ade Rosmana).*

Penelitian ini bertujuan mengetahui kemampuan dan mekanisme induksi ketahanan tanaman jagung menggunakan mikoriza *glomus etunicatum* terhadap penyakit bulai yang disebabkan oleh *P. philippinensis*. Penelitian dilaksanakan di Rumah Kawat, Laboratorium hama dan Penyakit Tumbuhan Balai Penelitian Tanaman Serealia di Kabupaten Maros. Penelitian dilaksanakan pada bulan Juli 2022 sampai September 2022.

Penelitian ini menggunakan rancangan acak kelompok yang terdiri dari 3 kombinasi faktor perlakuan. Faktor pertama terdiri dari tiga taraf yakni tiga varietas jagung antara lain : Anoman/cek rentan (V1), JH29 (V2) dan Pertiwi6/cek tahan (V3), faktor kedua terdiri dari 2 taraf yakni Inokulasi (M1) dan non inokulasi mikoriza (M0), faktor ketiga terdiri dari 2 taraf perlakuan yakni inokulasi (P1) dan non inokulasi patogen (P0).

Total diperoleh sebanyak dua belas kombinasi perlakuan. Masing-masing perlakuan terdiri dari 10 tanaman uji sehingga terdapat 120 unit percobaan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa Varietas tahan secara mandiri efektif menekan infeksi penyakit bulai yang disebabkan oleh jamur *Peronosclerospora philippinensis*. Kombinasi FMA *Glomus etunicatum* dan varietas moderat memberikan peningkatan respon ketahanan tanaman yang lebih baik dibandingkan kombinasi FMA *Glomus etunicatum* dan varietas lainnya. Peningkatan respon ketahanan tanaman terjadi melalui peningkatan sifat ketahanan dan akumulasi senyawa metabolit sekunder (fenol dan asam salisilat). Sebagai alternatif teknik pengendalian yang ramah lingkungan, kombinasi varietas dengan FMA menjadi pilihan untuk mengendalikan penyakit bulai tanaman jagung.

ABSTRACT

ERWIN NAJAMUDDIN. Induction of maize resistance by application arbuscular mycorrhiza fungi *Glomus etunicatum* against downy mildew (*Peronosclerospora philippinensis*). (supervised by **Tutik Kuswinanti and Ade Rosmana**).

This study aims to determine the ability and mechanism of inducing resistance of maize plants using *glomus etunicatum* mycorrhiza against downy mildew caused by *P. philippinensis*. The research was conducted at the Wire House, Laboratory of Plant Pests and Diseases of the Cereals Research Institute in Maros Regency. The research was conducted from July 2022 to September 2022.

This study used a randomized block design consisting of 3 combinations of treatment factors. The first factor consisted of three levels, namely three maize varieties, including: Anoman/susceptible check (V1), JH29 (V2) and Pertiwi6/resistant check (V3), the second factor consisted of 2 levels, namely Inoculation (M1) and non-mycorrhizal inoculation (M0), the third factor consisted of 2 treatment levels namely inoculation (P1) and non-inoculation of pathogens (P0). A total of twelve treatment combinations were obtained. Each treatment consisted of 10 test plants so that there were 120 experimental units.

The results showed that resistant varieties independently effectively suppressed downy mildew infection caused by the fungus *P. philippinensis*. The combination of AMF *G. etunicatum* and moderate varieties gave a better increase in plant resistance responses compared to the combination of AMF *G. etunicatum* and other varieties. The increase in plant resistance response occurred through increased resistance properties and accumulation of secondary metabolites (phenols and salicylic acid). As an alternative control technique that is environmentally friendly, a combination of varieties with AMF is an option for controlling downy mildew in maize.

DAFTAR ISI

| | |
|---|-------------|
| HALAMAN SAMPUL | ii |
| HALAMAN PENGESAHAN | iii |
| PERNYATAAN KEASLIAN..... | iv |
| KATA PENGANTAR | v |
| ABSTRAK..... | viii |
| ABSTRACT..... | ix |
| DAFTAR ISI | x |
| DAFTAR TABEL | xii |
| DAFTAR GAMBAR..... | xiii |
| DAFTAR LAMPIRAN | xiv |
| BAB I. PENDAHULUAN | 1 |
| A. Latar Belakang..... | 1 |
| B. Rumusan Masalah | 4 |
| C. Tujuan Penelitian | 6 |
| D. Manfaat Penelitian. | 6 |
| E. Ruang Lingkup Penelitian. | 6 |
| F. Sistematikan Penelitian..... | 8 |
| BAB II. TINJAUAN PUSTAKA..... | 9 |
| A. Penyakit Bulai Pada Tanaman Jagung..... | 9 |
| B. Pengendalian Penyakit Bulai Pada Jagung. | 11 |
| C. Varietas dan Induksi Ketahanan Tanaman..... | 12 |
| D. Peran Mikoriza Sebagai Agens Hayati dan Penginduksi Ketahanan Tanaman. | 13 |
| E. Peranan Sinyal Asam Salisilat Dalam Induksi Ketahanan Tanaman. . | 15 |
| F. Peranan Senyawa Fenol Dalam Mekanisme Ketahanan Tanaman. ... | 17 |
| G. Kerangka Konseptual..... | 20 |
| H. Hipotesis. | 21 |
| BAB. III METODE PENELITIAN..... | 22 |
| A. Rancangan Penelitian | 22 |

| | |
|---|-----------|
| B. Lokasi dan Waktu..... | 22 |
| C. Prosedur Pelaksanaan,..... | 22 |
| D. Variabel Pengamatan..... | 27 |
| E. Analisis Data. | 29 |
| BAB. IV. HASIL DAN PEMBAHASAN | 30 |
| A. Hasil Penelitian..... | 30 |
| 1. Pertumbuhan Vegetatif Tanaman. | 30 |
| 2. Derajat Infeksi <i>Glomus etunicatum</i> | 34 |
| 3. Masa Inkubasi, Kejadian dan Keparahan Penyakit. | 35 |
| 4. Respon Induksi Ketahanan Tanaman Jagung (Fenol Total dan Akumulasi Asam Salisilat)..... | 37 |
| B. Pembahasan. | 42 |
| 1. Pertumbuhan Vegetatif Tanaman. | 42 |
| 2. Re-Identifikasi dan Pengamatan Infeksi <i>Glomus etunicatum</i> | 44 |
| 3. Masa Inkubasi, Insiden, dan Keparahan Penyakit..... | 45 |
| 4. Respon Induksi Ketahanan Tanaman Jagung (Fenol Total dan Akumulasi Asam Salisilat)..... | 48 |
| BAB V. PENUTUP | 52 |
| A. Kesimpulan | 52 |
| B. Saran | 52 |
| Daftar Pustaka | 53 |
| Lampiran | 61 |

DAFTAR TABEL

| | Hal |
|--|------------|
| Tabel 1. Kategori derajat infeksi mikoriza pada akar tanaman | 27 |
| Tabel 2. Rekapitulasi hasil pengamatan tinggi tanaman 14 dan 28 hsi. | 31 |
| Tabel 3. Rekapitulasi hasil pengamatan jumlah daun 14 dan 28 hsi. | 32 |
| Tabel 4. Rekapitulasi hasil pengamatan diameter batang 14 dan 28 hsi. | 34 |
| Tabel 5. Rekapitulasi hasil pengamatan persentase infeksi FMA pada akar tanaman tanaman umur 50 hst. | 35 |
| Tabel 6. Rekapitulasi hasil pengamatan masa inkubasi, intensitas penyakit 14 hsi dan 28 hsi. | 37 |
| Tabel 7. Rekapitulasi hasil persentase peningkatan fenol total 4 hsi. | 39 |
| Tabel 8. Rekapitulasi peningkatan akumulasi asam salisilat tanaman pada 1- 2 hsi. | 42 |

DAFTAR GAMBAR

| | Hal |
|--|------------|
| Gambar 1. Bagan Penelitian Induksi Ketahanan Tanaman Jagung Menggunakan FMA <i>G. etunicatum</i> Terhadap Penyakit Bulai. | 8 |
| Gambar 2. Kerangka Konseptual Induksi Ketahanan menggunakan kombinasi varietas tahan dan FMA <i>G. etunicatum</i> untuk mengendalikan penyakit bulai yang disebabkan oleh <i>P. philippinensis</i> . | 20 |
| Gambar 3. Pengamatan Spora <i>Glomus etunicatum</i> | 46 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | Hal |
|---------------------------------------|-----------|
| Lampiran 1. Dokumentasi Penelitian | 61 |
| Lampiran 2. Deskripsi Varietas Jagung | 65 |

BAB I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang.

Penyakit bulai merupakan salah satu penyakit utama tanaman jagung. Tanaman yang terinfeksi penyakit bulai tidak akan memberikan hasil yang optimal. Pakki dan Burhanuddin (2013) menyatakan bahwa penyakit bulai pada jagung dapat menurunkan hasil hingga 90%, terutama apabila penularan penyakit terjadi sejak awal pertumbuhan pada varietas rentan. Di Indonesia, penyakit bulai jagung disebabkan oleh tiga spesies *Peronosclerospora* yaitu *P. maydis*, *P. sorghi*, dan *P. philippinensis*. *Peronosclerospora maydis* memiliki sebaran hampir diseluruh Indonesia. *P. philippinensis* di Sulawesi utamanya Sulawesi Utara dan Sulawesi Selatan serta *P. sorghi* di sebagian Sumatera, Jawa dan Sulawesi. (Muis *et al*, 2013 ; Rustiani *et al*, 2015 ; Hikmawati *et al*, 2019).

Pengendalian penyakit bulai pada tanaman jagung dapat dilakukan dengan kultur teknis, aplikasi agens hayati, pestisida nabati, penggunaan varietas tahan dan pestisida sintetis (Talanca, 2013). Pakki *et al* (2019) mengungkapkan bahwa saat ini penyakit bulai lebih banyak dikendalikan dengan penggunaan varietas tahan dikombinasikan dengan fungisida sintetis yang diaplikasikan pada awal tanam. Penggunaan fungisida sintetis yang dikombinasikan dengan varietas tahan dapat menyebabkan dampak negative yaitu berbahaya bagi organisme non target, menyebabkan pepadatan struktur, residu yang sulit terurai serta adanya dengan resiko terhadap kesehatan konsumen (Meena *et al*, 2020). Resiko

tersebut menyebabkan perlunya alternatif pengendalian yang ramah lingkungan dan tidak memiliki resiko Kesehatan bagi konsumen.

Penggunaan varietas tahan merupakan metode pengendalian yang murah dan mudah untuk dilakukan, namun penggunaannya dalam skala luas dan berkelanjutan akan menyebabkan terbentuknya strain baru. Patogen strain baru dengan virulensi lebih kuat dapat mematahkan ketahanan tanaman terhadap patogen. Untuk mengantisipasi hal tersebut maka diperlukan kombinasi teknik pengendalian ramah lingkungan dengan resiko kesehatan yang rendah. Sifat ketahanan dapat ditingkatkan melalui induksi yang dipicu oleh elisitor dengan melibatkan koordinasi dan ekspresi dari gen tertentu yang ditandai dengan akumulasi senyawa tertentu seperti asam salisilat, asam jasmonat dan etilen serta ekspresi protein yang berkaitan dengan patogenesis patogen (Hoerussalam *et al*, 2013; Wang *et al*, 2019). Induksi oleh elisitor juga dapat dilakukan menggunakan senyawa sintetis tertentu atau mikroorganisme dengan karakter khusus seperti mikroba endofit, mikroba filospere, mikroba non-patogenik, mikroba antagonis, serta mikroba pemacu pertumbuhan tanaman seperti PGPR, PGPF dan Fungi mikoriza (Djaenuddin, 2016; Habibullah *et al*, 2017; Sanmartin *et al*, 2020).

Fungi mikoriza arbuskula (FMA) termasuk salah satu yang sangat berlimpah dan memiliki potensi cukup besar untuk menekan penyakit tanaman. FMA banyak terdapat di tanah dan membantu tanaman dalam pertumbuhan, perkembangan, toleransi stres, remediasi polutan tanah, C-

sequestration, ketahanan tanaman dan keberlanjutan pertanian. FMA membantu tanaman dalam penyerapan nutrisi dengan memperluas jaringan hifa di sekitar rizosfer. Infeksi mikoriza mengubah arsitektur akar dan menyebabkan penyerapan nutrisi dari akar menjadi jauh lebih baik. (Varma *et al*, 2018).

Penelitian terkait kemampuan FMA dalam kaitannya sebagai penginduksi ketahanan tanaman telah dilaporkan pada beberapa tanaman. Mustafa *et al.* (2017) Melaporkan bahwa FMA mampu menginduksi ketahanan tanaman gandum terhadap penyakit *Blumeria graminis*. Infeksi *B. graminis* pada daun gandum berkurang 78% pada tanaman dengan aplikasi mikoriza. Zhang *et al.* (2018) juga mengungkapkan bahwa FMA mampu meningkatkan resistensi tanaman jeruk terhadap penyakit kanker yang disebabkan oleh *Xanthomonas axonopodis* pv. *citri* ('Xac'). Peningkatan resistensi ini merupakan hasil interaksi inang, patogen dan elisitor FMA, berkaitan dengan modulasi aktivitas asam salisilat pada tanaman dan bersifat sistemik untuk tanaman sekitarnya. Liu *et al* (2021) juga melaporkan bahwa jagung terinfeksi *Setosphaeria turcica* menyebabkan perubahan dinamis dalam kelimpahan protein pertahanan yang diinduksi patogen termasuk protein asam salisilat.

Asam salisilat (AS) adalah hormon penting pada tanaman yang diketahui memiliki fungsi mediasi respon inang terhadap infeksi patogen. Sintesis AS dimulai dari chorismate melalui mekanisme isochorismate

synthase (ICS) atau fenilalanin jalur amonia-liase (PAL) dengan akumulasi sintesis berbeda pada setiap interaksi tanaman dan patogen (Lefevere *et al*, 2020).

Hingga saat ini, Informasi terkait bagaimana mekanisme induksi ketahanan tanaman jagung menggunakan fungi mikoriza arbuskula terhadap penyakit bulai belum tersedia. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bahwa aplikasi FMA *Glomus etunicatum* dapat menginduksi ketahanan tanaman jagung terhadap penyakit bulai yang disebabkan *Peronosclerospora philippinensis*. Belum adanya laporan hasil penelitian tersebut menjadikan penelitian ini penting untuk dilakukan sebab dapat menjadi solusi alternatif pengendalian penyakit bulai pada tanaman jagung yang ramah lingkungan dan praktis dalam aplikasinya.

B. Rumusan Masalah

Pengendalian penyakit bulai pada tanaman jagung dapat dilakukan dengan kultur teknis, aplikasi agens hayati, pestisida nabati, penggunaan tanaman tahan dan pestisida sintesis. Penerapan satu teknik pengendalian dianggap kurang tepat sebab lebih mudah terpatahkan oleh adaptasi pathogen sehingga pengendalian banyak dilakukan dengan mengkombinasikan lebih dari satu teknik pengendalian.

Pakki *et al* (2019) melaporkan bahwa perlakuan varietas tahan yang dikombinasikan dengan fungisida metalaksil pada benih efektif untuk mengendalikan penyakit bulai. Akan tetapi, penggunaan pestisida dalam skala luas memiliki dampak negatif bagi munculnya resistensi patogen

dan pencemaran lingkungan. Dengan demikian, teknik pengendalian alternatif diperlukan untuk dikombinasikan dengan varietas tahan. Induksi ketahanan tanaman merupakan salah satu teknik pengendalian alternatif untuk pengendalian penyakit bulai pada tanaman jagung. Induksi ketahanan dapat dilakukan dengan mengaplikasikan agens hayati FMA sekaligus penginduksi ketahanan tanaman. Kombinasi varietas tahan dengan FMA dalam mengendalikan penyakit bulai jagung masih sangat jarang dilakukan. Oleh karena itu, informasi terkait kemampuan induksi ketahanan tanaman jagung menggunakan FMA *Glomus etunicatum* terhadap penyakit bulai yang disebabkan oleh *P. philippinensis* menjadi penting untuk diketahui. Diantara masalah penting yang ingin di rumuskan dalam penelitian ini antara lain.

1. Apakah ada pengaruh jenis ketahanan varietas terhadap infeksi penyakit bulai yang disebabkan oleh *P. philippinensis*.
2. Apakah ada pengaruh aplikasi FMA *G. etunicatum* dalam menginduksi ketahanan tanaman jagung yang terinfeksi penyakit bulai (*P. philippinensis*).
3. Bagaimana pengaruh kombinasi jenis varietas pada tanaman jagung dan FMA *G. etunicatum* dalam menginduksi dan menekan infeksi penyakit bulai (*P. philippinensis*).

C. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yaitu untuk mengetahui kemampuan dan mekanisme induksi ketahanan tanaman jagung dengan aplikasi FMA *G. etunicatum* terhadap penyakit bulai yang disebabkan oleh *P. philippinensis*.

D. Manfaat Penelitian.

Manfaat penelitian ini antara lain :

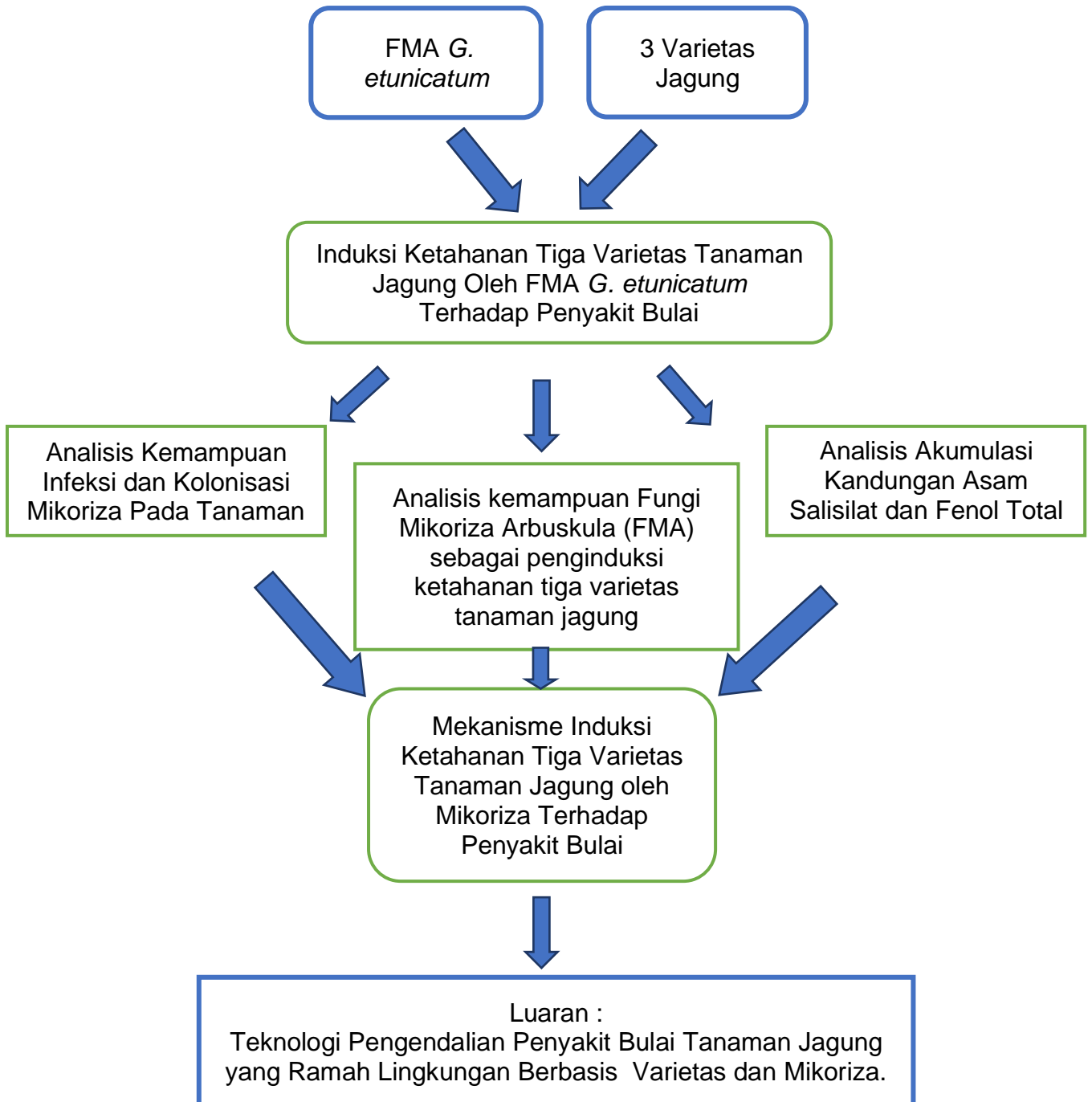
1. Memberikan informasi terkait induksi ketahanan tanaman jagung menggunakan FMA *G. etunicatum* terhadap penyakit bulai yang disebabkan oleh *P. philippinensis*.
2. Memberikan rekomendasi teknologi ramah lingkungan untuk mengendalikan penyakit bulai yang disebabkan oleh *P. philippinensis* pada tanaman jagung.
3. Menjadi sumber informasi ilmiah terkait mekanisme induksi ketahanan tanaman jagung menggunakan FMA *G. etunicatum* terhadap penyakit bulai yang disebabkan oleh *P. philippinensis* bagi yang membutuhkan.

E. Ruang Lingkup Penelitian.

1. Uji kemampuan infeksi dan kolonisasi FMA *G. etunicatum* pada tiga varietas tanaman jagung.
2. Uji kemampuan FMA *G. etunicatum* sebagai penginduksi ketahanan tiga varietas tanaman jagung terhadap penyakit bulai.

3. Analisis kandungan asam salisilat dan fenol total menggunakan metode spektrofotometer sebagai indikator induksi ketahanan tiga varietas tanaman jagung akibat infeksi patogen.

F. Sistematisan Penelitian.



Gambar 1. Bagan Penelitian Induksi Ketahanan Tanaman Jagung Menggunakan FMA *G. etunicatum* Terhadap Penyakit Bulai.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Penyakit Bulai Pada Tanaman Jagung.

Bulai merupakan penyakit utama pada tanaman jagung yang disebabkan oleh oomycetes *Peronosclerospora* spp. *Peronosclerospora* spp merupakan parasit obligat yang tidak dapat ditumbuhkan di media kultur sintetik. *Peronosclerospora* spp. umumnya dibedakan berdasarkan morfologinya, struktur konidiofor dan bentuk serta ukuran dari konidia. Perbedaan lainnya adalah kisaran inang, kehadiran oospora, dan perbedaan morfologi lain. Di Indonesia penyakit bulai disebabkan oleh tiga spesies *Peronosclerospora* spp yakni *P. maydis* dan *P. sorghi* ditemukan menyebar hampir di semua pulau di Indonesia sedangkan *P. philippinensis* hanya ditemukan di Pulau Sulawesi, (Rustiani *et al*, 2015; Muis *et al*. 2016; Pakky *et al*, 2019; Suharjo *et al*, 2020).

Sumber inokulum penyakit bulai dapat berupa oospora yang merupakan spora bertahan saat musim dingin atau konidia dari tanaman terinfeksi yang ada di sekitar pertanaman baru. Pada kondisi suhu tanah di atas 20°C, oospora dalam tanah berkecambah sebagai respons terhadap eksudat akar dari bibit jagung yang rentan. Tabung kecambah menginfeksi bagian tanaman dibawah permukaan tanah dan menyebabkan gejala sistemik termasuk klorosis dan pertumbuhan tanaman menjadi kerdil. Ketika oospora menginisiasikan infeksi, daun pertama umumnya bebas penyakit, Oospora dilaporkan dapat bertahan hidup di alam hingga 10 tahun. Setelah jamur mengkolonisasi jaringan

tanaman, konidiofor muncul melalui stomata dan menghasilkan sporangia (konidia) yang dapat disebarluaskan melalui angin dan air hujan atau melalui infeksi sekunder. Sporangia diproduksi di malam hari bersifat rapuh tidak dapat menyebar lebih dari ratusan meter dan tidak dapat bertahan lama (CIMMYT, 2018; Muis *et al*, 2018).

Patogen bulai yakni *Peronosclerospora* spp. bersifat biotrofik yang menyebar dalam jaringan tanaman hidup dan umumnya tidak menyebabkan nekrosis, patogen ini membentuk dan menggunakan haustoria untuk mengekstrak nutrisi dari sel inangnya (Dodds dan Rathjen, 2010). Perkecambahan sporangia tergantung pada ketersediaan air di permukaan daun. Jika air cukup tersedia, sporangia berkecambah dan menginfeksi tanaman melalui stomata pada daun, selubung, atau batang dalam beberapa jam. Gejala awal penyakit (bintik-bintik dan garis-garis klorotik yang memanjang sejajar dengan vena) terjadi dalam 3 hari. Ketika tanaman mendekati penuaan, oospora diproduksi dalam jumlah besar (Muis *et al*, 2018)

Penyakit bulai dapat menular dari tanaman sakit sebagai sumber inokulum ke tanaman sehat. Menurut Semangun (1991), dalam kondisi kelembaban 90% dan suhu rendah berkisar 24 C, konidia akan terlepas dari konidiofor. Mekanisme pelepasan konidia terjadi secara mekanis dengan cara pangkal konidiofor terpilin, kemudian berputar kembali ke kondisi normal. Gerak mekanis ini menyebabkan konidia yang berada di ujung konidiofor.

B. Pengendalian Penyakit Bulai Pada Jagung.

Upaya pengendalian penyakit bulai dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu penggunaan varietas tahan, sanitasi lingkungan pertanaman jagung, pergiliran varietas jagung atau rotasi ke tanaman lain, dan penggunaan fungisida yang efektif dengan perlakuan benih (seed treatment) (Talanca, 2013). Selain itu penggunaan mikrobia rizhosfer yang dipadukan dengan bahan alami seperti ekstrak *Prosopis chilensis* dan *Azadirachta indica* mampu menekan perkecambahan spora *P. sorghi* pada tanaman jagung hingga 88% (Kamalakaran and Shanmugam, 2009).

Beberapa teknik pengendalian lainnya juga telah banyak dilakukan. Hasil penelitian menunjukkan kombinasi perlakuan varietas tahan dengan fungisida metalaktil efektif mengendalikan penyakit bulai (Pakki *et al*, 2019). Teknik pengendalian lainnya yang saat ini banyak dikembangkan adalah penggunaan agens pengendali hayati. Kemampuan pengendalian penyakit tanaman dengan agens hayati berkaitan dengan kemampuan agens hayati tersebut dalam berkolonisasi dan menginduksi ketahanan tanaman terinfeksi melalui produksi senyawa metabolit sekunder. *Bacillus* sp. dan *Pseudomonas* sp. dilaporkan dapat menstimulasi pertumbuhan tanaman jagung dan mampu menekan penyakit bulai hingga 50% (Jatnika *et al*, 2014). Aplikasi *P. fluorescens* dan varietas tahan dapat menekan perkembangan penyakit bulai (Ulhaq dan Masnilah, 2019). Aplikasi formulasi *Bacillus subtilis* mampu menekan penyakit bulai

hingga 63% (Djaenuddin *et al*, 2018). Cendawan Mikoriza Arbuskula (CMA) dapat digunakan sebagai biostimulator pertumbuhan tanaman jagung (*Zea mays* L.). CMA dapat meningkatkan berat basah akar, berat kering akarserta mampu menurunkan infeksi salah satu patogen utama pada tanaman jagung yang disebabkan oleh *Curvularia* sp. (Windasari *et al.*, 2019)

C. Varietas dan Induksi Ketahanan Tanaman.

Setiap varietas, plasma nutfah memiliki tingkat ketahanan yang berbeda Sifat ketahanan Jagung hibrida yang tahan dapat menjadi rentan dengan infeksi penyakit bulai yang berdampak pada penurunan hasil. (Pakki, 2017; Pakki dan Mappangganggang, 2018). Penggunaan varietas tahan bulai lebih dianjurkan digunakan dalam pengendalian penyakit bulai pada jagung dibandingkan dengan penggunaan fungisida karena tidak efektif dan tidak ramah lingkungan (Agustamia *et al*, 2016).

Ketahanan terhadap penyakit merupakan salah satu sifat yang sangat penting dalam pemuliaan tanaman karena mempengaruhi kualitas dan tingkat produksi tanaman. Salah satu upaya untuk meningkatkan ketahanan tanaman terhadap penyakit adalah melalui induksi ketahanan sistemik yang dipicu oleh pengaplikasian elisitor dengan melibatkan koordinasi dan ekspresi dari gen tertentu (gen SAR) serta ditandai oleh akumulasi senyawa tertentu seperti asam salisilat atau asam jasmonat. Aplikasi elisitor dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap penyakit bulai (Hoerussalam *et al*, 2013).

Ketahanan yang diinduksi diakui sebagai metode yang potensial dalam pengelolaan penyakit tanaman pertanian. Penelitian terkait induksi ketahanan telah banyak dilakukan namun belum sepenuhnya difahami mekanisme utama dan bagaimana prosesnya secara rinci (Yi *et al*, 2013). Secara alami, setiap tanaman memiliki gen ketahanan namun gen tersebut bersifat pasif dan stimulasi sinyal tertentu untuk aktivasinya. Sinyal tersebut dapat diaktivasi oleh mikroorganisme yang mengakibatkan terjadinya luka mekanis ataupun terjadi perubahan fisiologis (Liang *et al*, 2011).

Ketahanan tanaman dapat ditingkatkan dengan berbagai penginduksi biotik dan abiotik, termasuk mikroba nonpatogen dan patogen, dan herbivora, sehingga meningkatkan perlindungan terhadap kerusakan biotik lebih lanjut. Mekanisme tersebut dikenal dengan istilah ketahanan terinduksi. Ketahanan terinduksi bisa menjadi teknologi yang berharga dalam pengelolaan hama berkelanjutan. IR telah dipelajari secara aktif pada tanaman sehingga kini muncul sebagai konsep ramah lingkungan yang menarik (Eyles, *et al*, 2010)

D. Peran Mikoriza Sebagai Agens Hayati dan Penginduksi Ketahanan Tanaman.

Mikoriza merupakan jamur yang memiliki asosiasi mutualistik antara dengan akar tanaman dimana tanaman menyediakan sumber nutrisi dan lingkungan hidup untuk jamur. Sedangkan mikoriza meningkatkan luas permukaan akar tanaman untuk menyerap air,

senyawa nitrogen, fosfor, dan nutrisi anorganik lainnya (misalnya fosfat) dari tanah disekitarnya dan mengirimkannya ke tanaman guna meningkatkan pertumbuhan dan kesehatan tanaman (Zayed *et al*, 2013). Juga, jamur mikoriza melindungi akar tanaman dari invasi oleh patogen penyebab infeksi akar tanah. Simbiosis endomikoriza meningkatkan kinerja tanaman melalui peningkatan toleransinya terhadap tekanan lingkungan baik tekanan biotik (misalnya serangan patogen) atau tekanan abiotik (misalnya, kekeringan, salinitas, toksisitas logam berat, atau adanya polutan organik (Manaf dan Zayed, 2015) dan juga memperbaiki struktur tanah melalui pembentukan agregat hidro-stabil (Barea dan Pozo, 2013)

Simbiosis mikoriza dengan tanaman sangat mempengaruhi pertumbuhan, perkembangan dan memainkan peran penting dalam pengendalian hayati penyakit tanaman dengan mekanisme pengendalian secara langsung atau tidak langsung. Mekanisme tersebut termasuk perbaikan nutrisi tanaman dan beberapa mekanisme lain seperti mempengaruhi fotosintesis, menekan kerusakan, persaingan langsung berupa kolonisasi daerah perakaran, perubahan morfologi akar, perubahan rizosfer, populasi mikroba, perubahan biokimia yang terkait dengan pertahanan tanaman (Jung *et al*. 2012).

Jamur mikoriza arbuscular *Funneliformis mosseae* mampu melindungi gandum terhadap patogen *Blumeria graminis* f. sp. *Tritici*. Akar gandum yang diinokulasi dengan jamur mikoriza menunjukkan resistensi

sistemik pada daun terhadap *B. graminis*. Resistensi menyebabkan penurunan pembentukan haustorium *B. graminis* di dalam sel-sel epidermis daun. Selain itu, terdapat peningkatan akumulasi senyawa fenolik dan H₂O₂ di situs penetrasi *B. graminis*. Peningkatan ekspresi regulasi gen yang mengkode beberapa penanda pertahanan, seperti peroksidase, fenilalanin amonia liase, kitinase 1 dan non-ekspresor protein terkait patogenesis 1 dalam gandum. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi mekanisme induksi resistensi oleh mikoriza pada (MIR) yang mengganggu proses pengembangan patogen dan terjadi secara sistemik akibat adanya elisitasi mikoriza bersamaan kondisi prima pada gandum (Mustafa *et al*, 2017).

E. Peranan Sinyal Asam Salisilat Dalam Induksi Ketahanan Tanaman.

Asam salisilat (SA) adalah hormon penting pada tanaman yang banyak diketahui sebagai mediator respon inang terhadap infeksi patogen. Perannya dalam aktivasi pertahanan tanaman diketahui secara pasti, tetapi biosintesisnya pada tanaman tidak sepenuhnya dipahami. SA diturunkan dari dua jalur yang belum diketahui secara jelas yakni jalur ICS dan PAL, keduanya disintesis dari chorismate dengan respon yang berbeda-beda pada tanaman yang berbeda dan infeksi patogen berbeda (Levefere *et al*, 2020).

Asam salisilat (SA) adalah hormon penting pada tanaman yang berkaitan dengan ketahanan tanaman terhadap patogen. Biosintesis SA melibatkan dua jalur metabolisme utama dengan beberapa tahapan yakni

jalur isochorismate dan phenylalanine amonia-lyase. Pengaturan transkripsi biosintesis SA penting untuk mengatur Tingkat SA pada tanaman (Ding dan Ding, 2020). Asam salisilat (SA) telah dikenal memiliki peran penting untuk pertahanan dasar dan ketahanan terinduksi (SAR). Bersama asam N-Hydroxypipelicolic (NHP), diketahui bahwa setelah infeksi patogen, kadar kedua senyawa meningkat secara dramatis (Huang *et al*, 2020).

Reseptor SA NPR1 dan NPR4 memainkan peran luas dalam kekebalan tanaman. Reseptor berfungsi dalam dua jalur paralel untuk mengatur ekspresi gen pertahanan yang diinduksi SA. Persepsi SA oleh NPR1 dan NPR4 terjadi sebagai activator biosintesis asam N-hidroksipipekolat, yang kemudian menginduksi resistensi secara sistemik. Selanjutnya, NPR1 dan NPR4 terlibat dalam amplifikasi umpan balik positif biosintesis SA dan regulasi homeostasis SA melalui modifikasi termasuk 5-hidroksilasi dan glikosilasi (Liu *et al.*, 2020)

Sejak asam salisilat (SA) ditemukan sebagai elisitor yang menginduksi ketahanan tanaman tembakau terhadap virus mosaik Tembakau (TMV) pada tahun 1979, banyak laporan menunjukkan bahwa SA merupakan hormon kunci yang mengatur kekebalan tanaman. Selain itu, penelitian terbaru menunjukkan bahwa SA dapat mengatur banyak respons yang berbeda, seperti toleransi terhadap cekaman abiotik, pertumbuhan dan perkembangan tanaman, dan mikrobioma tanah (Koo *et al*, 2020).

Asam salisilat (SA) adalah hormon tanaman penting yang mengatur berbagai aspek pertumbuhan dan perkembangan tanaman serta aktivasi pertahanan terhadap cekaman biotik dan abiotik. SA memberi sinyal respons imun kepada tanaman. Selain itu, SA tidak memberi sinyal respons imun dengan sendirinya, melainkan sebagai bagian dari jaringan rumit yang melibatkan banyak hormon tanaman lainnya. SA itu sendiri mengarah pada respons imun yang kuat dan dioptimalkan untuk pertahanan maksimal, tergantung pada identitas patogen yang menyerang (Klessig *et al*, 2018).

F. Peranan Senyawa Fenol Dalam Mekanisme Ketahanan Tanaman.

Senyawa fenolik merupakan metabolit sekunder yang paling banyak ditemukan di tanaman. Molekul aromatik ini memiliki peran penting, sebagai pigmen, antioksidan, agen pensinyalan, elemen struktural lignan, dan sebagai mekanisme pertahanan. Itu ekspresi senyawa fenolik dipromosikan oleh cekaman biotik dan abiotik (misalnya, herbivora, patogen, suhu dan pH yang tidak menguntungkan, stres garam, berat tekanan logam, dan radiasi UVB dan UVA). Senyawa ini terbentuk melalui jalur shikimate pada tumbuhan tingkat tinggi dan mikroorganisme. Enzim yang bertanggung jawab untuk pengaturan metabolisme fenolik diketahui, dan asam shikimat adalah pusatnya metabolit. Jalur shikimate terdiri dari tujuh langkah reaksi, dimulai dengan kondensasi tipe aldol asam fosfoenolpiruvat (PEP) dari glikolitik jalur, dan D-erythrose-4-phosphate, dari siklus pentosa fosfat, menghasilkan 3-deoxy-D-arabino-heptulosonic

acid 7-phosphate (DAHP). Titik cabang kunci senyawa adalah asam chorismic, produk akhir dari jalur shikimate. (Santos-Sánchez, et al. 2019).

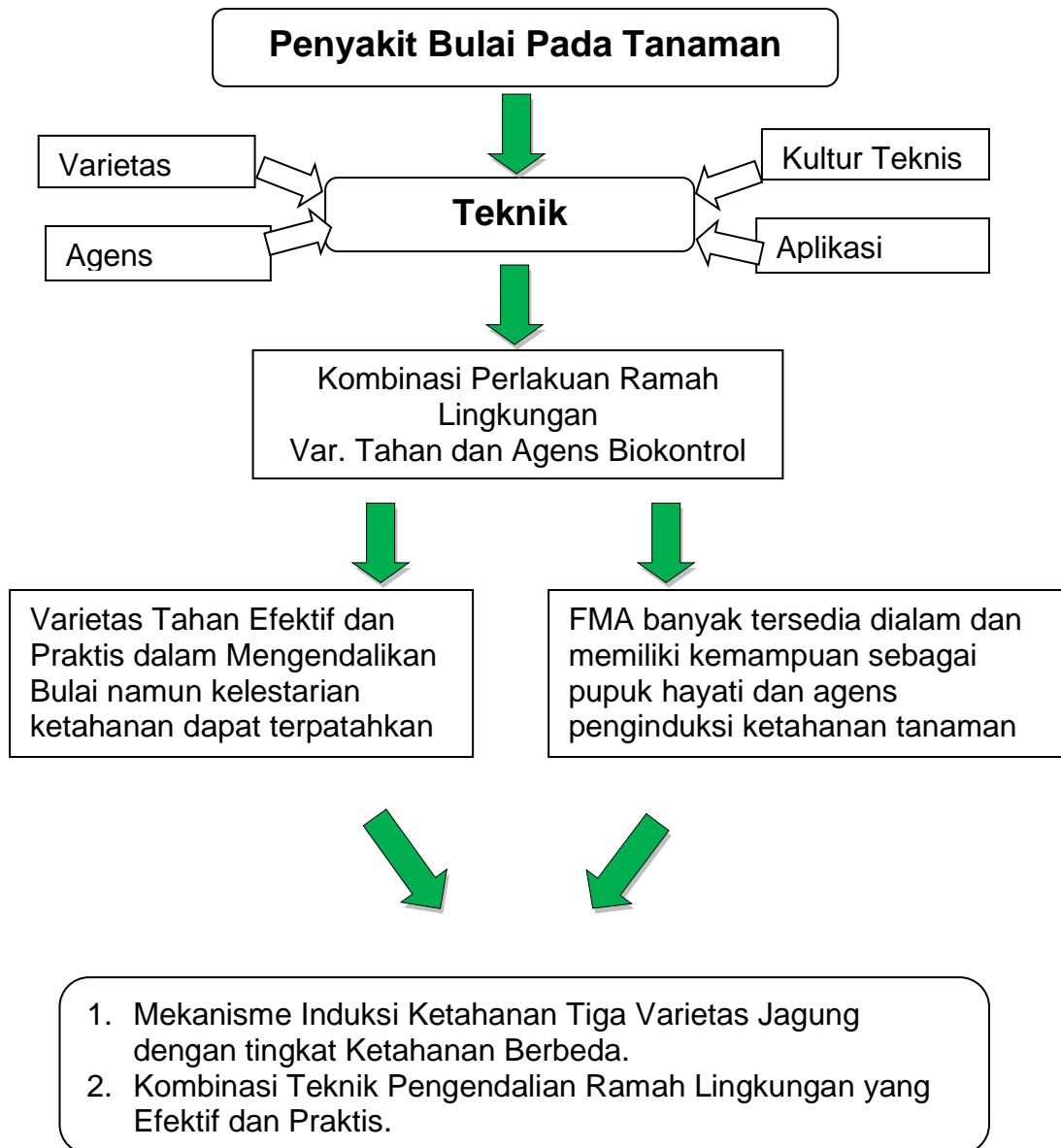
Tanaman mengaktifkan mekanisme pertahanan dengan menghasilkan senyawa metabolik sekunder salah satunya fenol, senyawa ini diaktifasi dari sistem pertahanan terhadap akibat kehadiran patogen secara normal atau akibat adanya tekanan lingkungan biotik maupun abiotik. Fenol adalah kelompok fungsional hidroksil pada cincin aromatic yang terdiri dari senyawa koumarin, furano-koumarin, lignin, flavonoid, isoflavonoid dan tannin (Imperato, 2006).

Polifenol memiliki banyak turunan yang memiliki aktivitas antioksidan yang sangat kuat. Salah satu dari golongan polifenol yang memiliki aktivitas antioksidan adalah flavonoid yang juga merupakan golongan terbesar dari polifenol. teh hijau yang berasal dari Cikajang (P-IRT No. 810320501698) mempunyai aktivitas antioksidan tertinggi yang ditandai dengan rendahnya nilai IC50 terkecil yaitu 21,44 µg/ml. (Kusmiyati *et al.*, 2015).

Perbedaan aktivitas antioksidan tanaman diperoleh dipengaruhi oleh kadar total fenol dan total flavonoidnya. Senyawa fenol dan flavonoid memiliki kontribusi linier terhadap aktivitas antioksidan, sehingga semakin tinggi kadarnya maka semakin baik pula antioksidannya (Ali & Neda, 2011). Metabolit sekunder (fenol) lainnya yang diduga berkontribusi sebagai antioksidan alami adalah alkaloid dan terpenoid (Antony *et al.* 2011).

Simbiosis mikoriza arbuskula dan jagung di samping meningkatkan pertumbuhan tanaman dengan meningkatkan penyerapan nutrisi terutama P, juga dilaporkan bahwa mampu menghambat pertumbuhan patogen tular tanah. Penghambatan atau pengendalian patogen tular tanah kemungkinan karena peningkatan kandungan fenol akibat stimulasi dengan mikoriza arbuscular dan membentuk struktur flavonoid, sehingga meningkatkan aktivasi enzim phenyl alanine ammonium lyase (PAL). (Soenartiningih, 2013).

G. Kerangka Konseptual



Gambar 2. Kerangka Konseptual Induksi Ketahanan menggunakan kombinasi varietas tahan dan FMA *G. etunicatum* untuk mengendalikan penyakit bulai yang disebabkan oleh *P. philippinensis*.

H. Hipotesis.

Terdapat tiga hipotesis dalam pelaksanaan penelitian ini yakni :

1. Varietas tahan mampu menekan kejadian dan keparahan penyakit bulai yang disebabkan oleh *P. philippinensis*.
2. FMA *G. etunicatum* mampu menginduksi ketahanan tanaman jagung dalam menekan patogen bulai yang disebabkan oleh *P. philippinensis*.
3. Minimal terdapat satu kombinasi perlakuan Varietas dan FMA *G. etunicatum* yang memberikan respon terbaik dengan mekanisme induksi ketahanan melalui akumulasi asam salisilat pada tanaman terinfeksi.