

BAB I

PENDAHULUAN UMUM

1.1. Latar Belakang

Bawang merah merupakan salah satu tanaman dari golongan *Allium* yang mempunyai nilai ekonomi tinggi dan penting yang banyak dibutuhkan oleh penduduk karena dimanfaatkan sebagai penyedap rasa pada masakan. Sejak dulu hingga kini, umbi bawang, juga digunakan orang sebagai obat karena mengandung minyak atsiri. Sebanyak 80% produksi bawang merah di Indonesia berasal dari Pulau Jawa dan hampir 50% terkonsentrasi di Jawa Tengah (Triwidodo & Tanjung, 2020).

Sentra produksi bawang merah terdapat di 24 di Indonesia, meliputi Sumatra Utara, Sumatera Barat, Jawa Barat, Jawa Tengah, DI Yogya, Jawa Timur, Bali, NTB, dan Sulawesi Selatan, dengan luas areal pertanaman yang sangat bervariasi. Salah satu sentra produksi bawang merah di Sulawesi selatan adalah Kabupaten Enrekang.



Gambar 1.1. Pertanaman bawang merah petani di Kabupaten Enrekang

Produksi bawang merah di Indonesia menurut Dirjen Tanaman Hortikultura (2020), mengalami peningkatan sebesar 5,11% yaitu pada tahun 2015 - 2016 mencapai 1.229.184 ton sampai 1.446.860 ton. Konsumsi nasional bawang merah tahun 2016 sebesar 698.178 ton kemudian tahun 2020 menjadi 755.687 ton dengan rata-rata pertumbuhan 2,03% per tahun (Kementan, 2016).



Gambar 1.2. Produksi bawang merah petani di Kabupaten Enrekang

Berdasarkan data *Early Warning System* (EWS), kebutuhan akan bawang merah pada Mei - Agustus 2020 meningkat sampai 342.598 ton. Hal ini mengindikasikan masih pentingnya peningkatan produksi tanaman bawang merah. Disisi lain, kawasan produksi bawang merah dalam skala besar memang belum merata di seluruh provinsi, termasuk beberapa daerah dari sentra produksi bawang merah, tingkat produktivitasnya tergolong masih rendah.

Produksi bawang merah secara nasional mengalami peningkatan jika dibandingkan antara tahun 2020 dan tahun 2024. Produksi yang semula sebesar 1.815.445 ton pada tahun 2020 meningkat menjadi 2.085.721 ton pada tahun 2024, atau terjadi kenaikan sebesar 270.276 ton dalam kurun waktu lima tahun. Namun demikian, apabila dibandingkan antara tahun 2021 dan 2022, produksi bawang merah nasional justru mengalami penurunan, yaitu dari 2.004.590 ton menjadi 1.982.360 ton, atau berkurang sebesar 22.230 ton. Penurunan produksi juga terjadi di Provinsi Sulawesi Selatan. Pada tahun 2021 produksi tercatat sebesar 183.210 ton, kemudian menurun menjadi 175.160 ton pada tahun 2022, atau mengalami penurunan sebesar 8.050 ton. Kondisi serupa terjadi di Kabupaten Enrekang, di mana produksi bawang merah tahun 2021 sebesar 148.550 ton, lalu menurun menjadi 146.690 ton pada tahun 2022, atau terjadi penurunan sebesar 1.860 ton, sebagaimana yang ditunjukkan pada tabel 1.2.

Tabel 1.1. Produksi Bawang Merah Tahun 2020-2024 di Indonesia

NO	PROVINSI	2020	2021	2022	2023	2024
1	ACEH	11.246	10.136	10.070	13.673	13.184
2	SUMATERA UTARA	29.222	53.962	64.835	65.585	58.070
3	SUMATERA BARAT	153.770	200.366	207.376	233.917	230.718
4	RIAU	263	329	195	323	246
5	JAMBI	11.977	13.264	16.050	18.401	12.288
6	SUMATERA SELATAN	934	1.125	1.130	1.197	897
7	BENGGULU	1.153	990	1.023	671	722
8	LAMPUNG	2.105	1.762	1.727	2.193	1.649
9	KEP. BANGKA BELITUNG	157	208	79	176	120
10	KEP. RIAU	123	33	41	17	102
11	DKI JAKARTA	-	2	1	0	13
12	JAWA BARAT	164.827	170.650	193.318	179.355	199.892
13	JAWA TENGAH	611.165	564.255	556.510	479.091	607.897
14	DI YOGYAKARTA	18.811	29.809	22.307	32.953	33.312
15	JAWA TIMUR	454.584	500.992	478.393	484.669	476.666
16	BANTEN	1.404	1.190	1.372	860	1.081
17	BALI	14.207	23.215	31.492	35.374	35.099
18	NUSA TENGGARA BARAT	188.740	222.620	201.155	212.618	159.885
19	NUSA TENGGARA TIMUR	10.424	11.430	7.584	11.409	8.105
20	KALIMANTAN BARAT	227	104	44	109	22
21	KALIMANTAN TENGAH	79	34	112	72	46
22	KALIMANTAN SELATAN	462	389	246	483	490
23	KALIMANTAN TIMUR	267	72	114	252	344
24	KALIMANTAN UTARA	90	88	7	351	-
25	SULAWESI UTARA	4.937	4.986	5.020	3.153	2.751
26	SULAWESI TENGAH	5.725	4.652	3.454	3.228	3.238
27	SULAWESI SELATAN	124.381	183.210	175.160	201.421	235.187
28	SULAWESI TENGGARA	655	1.015	449	491	782
29	GORONTALO	476	346	418	237	196
30	SULAWESI BARAT	631	693	748	1.076	882
31	MALUKU	1.106	1.013	759	607	489
32	MALUKU UTARA	951	1.231	805	611	571
33	PAPUA BARAT	136	118	78	343	190
34	PAPUA	209	304	286	317	366
35	PAPUA BARAT DAYA	-	-	-	-	2
36	PAPUA SELATAN	-	-	-	-	219
37	PAPUA TENGAH	-	-	-	-	1
38	PAPUA PEGUNUNGAN	-	-	-	-	-
	JUMLAH	1.815.445	2.004.590	1.982.360	1.985.233	2.085.721

Sumber : Badan Pusat Statistik

Tabel 1.2 Produksi Bawang Merah di Kabupaten Enrekang, Provinsi Sulawesi Selatan

Tahun	2020	2021	2022	2023	2024
Produksi (Ton)	102.878	148.550	146.690	175.978	205.119

Sumber : Badan Pusat Statistik Kabupaten Enrekang

Penyebab utama rendahnya produktivitas bawang merah di Kabupaten Enrekang adalah serangan organisme pengganggu tanaman. Serangan hama dan penyakit pada tanaman merupakan salah satu masalah yang sering dihadapi dalam budidaya bawang

merah. Hama dan patogen yang sering dijumpai adalah penyakit tanaman yang disebabkan oleh patogen *Fusarium oxysporum* (Abdul et al., 2019) dan hama *Spodoptera exigua* (Apriality dkk., 2021).

Besarnya kerugian yang ditimbulkan oleh *F. oxysporum* tersebut dapat menyebabkan hilangnya hasil antara 80 - 90%, Bahkan jika patogen ini mulai menyerang pada fase penyemaian, bisa menyebabkan kehilangan hasil sampai 100 % karena tanaman menjadi mati sebelum berproduksi. Begitupun potensi kehilangan hasil oleh serangan hama *S. exigua* dan penyakit dapat mencapai 20-100% (Basuki dkk., 2017). Persentase kerusakan tersebut dapat menyebabkan menurunnya bobot umbi karena terbentuknya daun baru untuk menggantikan daun yang rusak mengakibatkan umbi yang terbentuk menjadi lebih kecil dan jumlahnya sedikit (Nusyirwan, 2013).



Gambar 1.3. Tanaman bawang merah yang terserang penyakit busuk pangkal



Gambar 1.4. Hama yang menyerang tanaman bawang merah

Patogen *F. oxysporum* merupakan jenis patogen tular tanah dalam kelompok mikroba pengganggu tanaman yang keberadaannya dan hidupnya di dalam tanah. Begitupun dengan *S. exigua* merupakan hama pengganggu. Pengendalian yang sering dilakukan oleh petani adalah menggunakan pestisida kimia sintetis. Pestisida kimia sintetis kurang spesifik terhadap spesies patogen tular tanah, juga belum mampu mencapai keberadaan patogen tersebut dan didukung oleh kemampuan patogen dalam membentuk pertahanan diri (Santoso & Soesanto, 2012). Begitupun dengan hama menyebabkan munculnya resistensi hama dan hama baru. Adanya dampak tersebut, maka diperlukan cara pengendalian lain yang lebih efektif dan efisien. Musdalifa et al. (2017) menyatakan pengendalian biologi dapat dilakukan tanpa memberikan pengaruh negatif terhadap lingkungan sekitarnya, salah satunya adalah dengan pemanfaatan agen antagonis di daerah perakaran pada tanaman bawang merah dan pemanfaatan ekstrak tanaman sebagai pengendali hayati

Agrios (2005) mengidentifikasi 25.000 spesies cendawan tanah, ada sekitar 10.000 spesies merupakan patogen tanaman dan 15.000 spesies cendawan yang bertindak sebagai antagonis, yang mampu menekan perkembangan penyakit dan bersifat saprofit pada tanaman (Sumarsih, 2003). Beragam agen pengendalian hayati telah ditemukan dan menunjukkan kemampuan dalam menghambat pertumbuhan dan perkembangan penyakit tanaman. Pengembangan antagonis perlu terus dilanjutkan agar dapat tercipta keseimbangan ekosistem, terwujudnya kesehatan manusia, dan kelestarian lingkungan (Latifah et al., 2011).

Upaya untuk menekan dampak negatif penggunaan pestisida sintetis dapat dilakukan dengan mengurangi intensitas pemakaiannya melalui introduksi pestisida nabati yang memiliki efektivitas sebanding (Suryaningsih dan Hadisoeganda, 2014). Pestisida nabati adalah pestisida yang dibuat dari tumbuh-tumbuhan yang residunya mudah terurai di alam. Beberapa tumbuhan telah diketahui memiliki senyawa sekunder yang berperan penting dalam proses berinteraksi atau berkompetisi, termasuk melindungi diri dari gangguan kompetitornya (Saenong, 2017). Produk metabolit sekunder dapat dimanfaatkan sebagai bahan aktif pestisida nabati (Dubey et al., 2008) dan juga digunakan oleh tumbuhan sebagai alat pertahanan dari serangan organisme pengganggu berpotensi untuk pengendalian hama (Dono dkk., 2013).

Besarnya potensi agen hayati yang berada di perakaran tanaman juga menambah wahana dalam kelestarian lingkungan dan kesinambungan kehidupan di alamnya, maka perlu dilakukan pengkajian dan evaluasi cendawan antagonis dan ekstrak tanamandalam menekan perkembangan hama dan penyakit pada tanaman bawang merah yang

disebabkan oleh *F. oxysporum* dan *S. exigua*. Kalsoom et al., (2019) menyatakan ekstrak tanaman bekerja sinergis ketika dikombinasikan dengan agen pengendali lain. Kombinasi ini memberikan persentase penghambatan yang lebih tinggi daripada penjumlahan efek masing-masing perlakuan. Selain penggunaan agen hayati dan menggunakan produk tanaman alami, mulsa dapat digunakan untuk mengurangi populasi *S. exigua* (Pasigai dan Paiman 2023; Rezki dkk., 2025).

Mulsa organik dari jerami padi dan aplikasi ekstrak tumbuhan sebagai insektisida alami diharapkan dapat mengurangi populasi *S. exigua*. Penggunaan mulsa jerami dapat mengurangi populasi hama karena dapat menjadi konservasi musuh alami. Lagipula, mulsa jerami padi dapat menyebabkan peningkatan kelimpahan artropoda predator hama serangga pada tanaman bawang merah, terutama artropoda predator kelompok laba-laba dan semut (Nasir dkk., 2020). Hasil penelitian yang dilakukan oleh Rahim(2019) menunjukkan bahwa penggunaan mulsa jerami padi dapat menurunkan intensitas serangan hama *S. exigua* sebesar 20,83%. Sejalan dengan itu Ara et al. (2021) menyatakan bahwa kombinasi pembenah tanah (bahan organik), agen hayati, dan ekstrak botani memberikan pengurangan penyakit sebesar 67,6% - 99,6% dan meningkatkan hasil hingga 134% dibandingkan kontrol, membuktikan adanya interaksi positif. Ini membrikan petunjuk bahwa penggunaan kombinasi cendawan antagonis, ekstrak tanaman, kompos dan mulsa organik jerami padi punya potensi untuk digunakan sebagai agen pengendalian hama dan penyakit pada tanaman bawang merah yang ramah lingkungan.

1.2. Rumusan masalah

F. oxysporum dan *S. exigua* adalah 2 organisme yang meresahkan petani dan menjadi hama utama dalam budidaya bawang merah.terutama di kabupaten enrekang beberapa peneliti telah melaporkan bahwa infeksi *F. oxysporum* dan serangan *S. exigua* masing-masing menyebabkan gejala kelayuan dan rusaknya daun pada tanaman bawang merah, sehingga akan mempengaruhi produksi secara kualitas dan kuantitas. Jika pengendalian tidak dilakukan secara cermat, maka serangan bisa mencapai 100%. Untuk itu perlu penanganan yang bijak dengan mempertimbangkan berbagai dampak yang ditimbulkan oleh pestisida kimiawi berbahan sintetik. Oleh sebab itu penelitian ini direncanakan untuk menjawab permasalahan dengan mengambil rumusan masalah sebagai berikut:

- a. Eksplorasi dan identifikasi cendawan antagonis yang ada didaerah perkarana (rhizosfer) bawang merah dan bagaimana kemampuan cendawan antagonis dalam menghambat pertumbuhan *F. oxysporum* dan sinergitas antara cendawan

antagonis secara invitro.

- b. Menganalisis kemampuan ekstrak tanaman menekan pertumbuhan cendawan *F.oxysporum* dan cendawan antagonis secara invitro.
- c. Mengevaluasi aplikasi MacBio yang dikombinasi dengan cendawan antagonis, kompos dan jerami tanaman padi dalam menekan intensitas serangan *S. exigua* dan *F. oxysporum* pada tanaman bawang merah.
- d. Mengevaluasi kemampuan MacBio dikombinasikan dengan mulsa jerami padi dalam menekan intensitas serangan hama *S.exigua* dan menarik musuh alami pada pertanaman bawang merah.
- e. Mengevaluasi kemampuan Cendawan antagonis dari rhizosfer bawang merah dengan *T. asperellum* dan kompos dalam menekan intensitas serangan penyakit busuk pangkal yang disebabkan oleh cendawan *F. oxysporum* pada pertanaman bawang merah.

1.3. Tujuan Penelitian

- a. Identifikasi cendawan yang bersifat antagonis di daerah perakaran bawang merah dan kemampuannya dalam menghambat pertumbuhan *F. oxysporum* dan sinergitas antara cendawan antagonis secara invitro.
- b. Menganalisis kemampuan MacBio menghambat perkembangan cendawan *F oxysporum* dan cendawan antagonis dari rhizosfer bawang merah secara invitro.
- c. Menganalisis aplikasi kombinasi kompos, mulsa jerami padi, MacBio dan cendawan antagonis rhizosfer bawang merah dalam menekan intensitas serangan hama *S.exigua* dan penyakit pada tanaman bawang merah di lapangan.
- d. Menganalisis kemampuan MacBio dikombinasikan dengan mulsa jerami padi dalam menekan intensitas serangan hama *S. exigua* dan menarik musuh alami pada pertanaman bawang merah.
- e. Menganalisis kemampuan Cendawan antagonis dari rhizosfer bawang merah dengan *T. asperellum* dan Kompos dalam menekan intensitas serangan penyakit busuk pangkal yang disebabkan oleh cendawan *F. oxysporum* pada pertanaman bawang merah.

1.4. Output Penelitian

- a. Penelitian tahap 1. Diperoleh Isolat cendawan antagonis dari rhizosfer bawang merah yang paling unggul dalam menghambat pertumbuhan *F. oxysporum* secara invitro.

- b. Penelitian Tahap 2. Ditemukan kemampuan daya hambat ekstrak tanaman terhadap perkembangan *F. oxysporum* dan cendawan antagonis secara invitro.
- c. Penelitian Tahap 3. Diperoleh data tentang sinergisitas antar cendawan antagonis dan MacBio dalam menekan intensitas serangan *S. exigua* dan *F. oxysporum* pada tanaman bawang merah.
- d. Penelitian Tahap 4. Diperoleh data tentang sinergisitas antara mulsa jerami dan ekstrak tanaman dalam menekan intensitas serangan *S. exigua* dan menarik muruh alami.
- e. Penelitian Tahap 5. Ditemukan data tentang sinergisitas antara cendawan rhizosfer bawang merah dengan *T. asperellum* dalam menekan intensitas serangan penyakit busuk pangkal yang disebabkan oleh *F. oxysporum* Pada tanaman bawang merah.

1.5. Nilai Kebaruan (Novelty) Penelitian

Kebaruan dari penelitian ini adalah (1) diperoleh isolat cendawan antagonis yang unggul dari rhizosfer bawang merah (2) diperoleh data tentang sinergitas antara cendawan antagonis dan MacBio dalam menekan hama dan penyakit tanaman bawang merah.

1.6. Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini didasarkan pada permasalahan yaitu tingginya serangan patogen *F. oxysporum* dan *S. exigua* pada tanaman bawang merah, 2 organisme yang meresahkan petani dan menjadi hama utama dalam budidaya bawang merah. beberapa peneliti telah melaporkan bahwa infeksi *F. oxysporum* dan serangan *S. exigua* masing-masing menyebabkan gejala kelayuan dan rusaknya daun pada tanaman bawang merah, sehingga akan mempengaruhi produksi secara kualitas dan kuantitas. Untuk itu perlu penanganan yang bijak dengan mempertimbangkan berbagai dampak yang ditimbulkan oleh pestisida kimiawi berbahan sintetik. Oleh sebab itu penelitian ini direncanakan untuk menjawab permasalahan dengan tahapan penelitian sebagai berikut:

- a. Penelitian tahap 1. Isolasi dan identifikasi cendawan antagonis dari rhizosfer S bawang merah yang paling unggul dalam menghambat pertumbuhan *F.oxysporum* secara invitro.
- b. Penelitian Tahap 2. Menganalisis kemampuan daya hambat ekstrak tanaman terhadap perkembangan *F. oxysporum* dan cendawan antagonis secara invitro.
- c. Penelitian Tahap 3. Menganalisis sinergisitas antara cendawan antagonis dan ekstrak tanaman dalam menekan intensitas serangan *S. exigua* dan *F.oxysporum* pada tanaman bawang merah.

- d. Penelitian Tahap 5. Menganalisis sinergisitas antara mulsa jerami dan ekstrak tanaman dalam menekan intensitas serangan *S.exigua*.
- e. Penelitian Tahap 6. Menganalisis sinergisitas antara cendawan rhizosfer bawang merah dengan *T. asperellum* dalam menekan intensitas serangan penyakit busuk pangkal yang disebabkan oleh *F. oxysporum* Pada tanaman bawang merah.

1.7. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dibangun berdasarkan logika penelitian sebagaimana ditunjukkan sebagai berikut:

- BAB I Menguraikan tentang pendahuluan secara umum yang meliputi latar belakang, masalah, tujuan, manfaat, kebaruan penelitian, ruang lingkup penelitian dan sistematika penulisan
- BAB II Menguraikan mengenai artike tentangl isolasi, identifikasi, uji antagonis dan uji sinergitas dari cendawan rhiszosfer bawang merah dan uji daya hambat ekstrak tanaman terhadap patogen *F. oxysporum* dan cendawan antagonis
- BAB III Menguraikan mengenai artikel tentang uji sinergitas ekstrak tanaman dan cendawan antagonis dalam menekan intensitas serangan *S. exigua* dan penyakit pada tanaman bawang merah
- BAB IV Menguraikan mengenai artikel tentang aplikasi ekstrak tumbuhan kombinasi mulsa terhadap *S.exigua* (lepidoptera : noctudae) pada tanaman bawang merah.
- BAB V Menguraikan mengenai artikel efektivitas kombinasi *T. asperellum* dan *A. flavus* dengan kompos dalam menekan penyakit busuk pangkal bawang merah akibat *F. oxysporum*
- BAB VI Menunjukkan tentang pembahasan umum atas hasil-hasil yang telah dilakukan
- BAB VII Menunjukkan kesimpulan umum yang diangkat dari hasil-hasil yang telah dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul, A. A., Henny, S., & Nur, I. (2019). Interaction of physiology character-secondary metabolic of fusarium oxysporum on tomatoes of basal rotsymptom. *Materials Science Forum*, 967 MSF, 95–100. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.967.95>
- Adhi, S. R., & Suganda, T. (2020). Potensi cendawan rhizosfer bawang merah dalam menekan Fusarium oxysporum f.sp. cepae, penyebab penyakit busuk umbi bawang merah. *Kultivasi*, 19(1), 1015. <https://doi.org/10.24198/kultivasi.v19i1.22877>
- Ahmad, W. (2020). Preliminary phytochemical, antimicrobial and photochemical study of Calotropis gigantea leaf extract. *Current Chemistry Letters*. <https://doi.org/10.5267/j.ccl.2019.10.001>
- Ainy, E. Q., Ratnayani, R., & Susilawati, L. (2015). Uji Aktivitas Antagonis Trichoderma Harzianum 11035 Terhadap Colletotrichum capsici TCKR2 dan Colletotrichum acutatum TCK1 Penyebab Antraknosa pada Tanaman. *Jurnal Biologi*, 892–897
- Aktar, M. T., Hossain, K. S., & Bashar, M. A. (2014). Antagonistic potential of rhizosphere fungi against leaf spot and fruit rot pathogens of brinjal. *Bangladesh Journal of Botany*, 43(2), 213–217. <https://doi.org/10.3329/bjb.v43i2.21675>
- Amaria, W., Harni, R., & Samsudin. (2015). Evaluasi cendawan antagonis dalam Menghambat pertumbuhan Rigidoporus microporus Penyebab Penyakit Cendawan Akar Putih Pada Tanaman Karet Evaluation Of Antagonistic Fungi In Inhibiting The Growth Of Rigidoporus microporus Causing White Root Disease In Rubber Pla. *J. Tidp*, 2(1), 51– 60.
- Ambar, A. A., Syam, A., Setyawati, H., & Ilmi, N. (2015). The Effect of Fusaric Acid Application on the Lignin and Suberin Formation as Resistance Indicator on Tomato. *International Journal of Agriculture System*, 3(1), 59–64.
- Anonim, <https://www.jawapos.com/ekonomi/13/05/2020/meskipun-surplus-kementan-minta-produksi-bawang-merah-terus-digenjot/>.
- Aprialty, A. S., Sjam, S., Dewi, V. S., & Agustina, Y. E. (2021). The synergy of Calotropis gigantea and Cresscentia cujete plant extracts as an inhibitor of egg hatching and antifeedant against Spodoptera frugiperda. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 807(2). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/807/2/022086>
- Apriyani, S., P.M. Azzumar, & S. Wahyuni, 2021. Keragaman Hama pada Pertanaman Bawang Merah (*Allium ascalonicum* L.) di Kabupetan Pati. *Jurnal Litbang Provinsi Jawa Tengah* 19(1): 13 – 20.
- Arie Ramadhina, A. R., Lisnawita, L., & Lubis, L. (2013). Penggunaan Cendawan Antagonis Trichoderma Sp. Dan Gliocladium Sp. Untuk Mengendalikan Penyakit Busuk pangkal umbi Pada Tanaman Bawang Merah (*Allium Ascalonicum* L.). *Jurnal Agroekoteknologi Universitas Sumatera Utara*, 1(3), 95317.
- Armila, Z., Ambar, A. A., Ilmi, N., Harsani, & Rahim, I. (2019). Potensi Cendawan Trichoderma sp Dalam Pengendalian Phytophthora palmivora Secara In Vitro. *Prosiding Seminar Nasional 2019*, 2, 26–27.
- Arannilewa, S. T., Ekrakene, T., & Akinneye, J. O. (2006). Laboratory evaluation of four medicinal plants as protectants against the maize weevil, Sitophilus zeamais (Mots). *African Journal of Biotechnology*, 5(21), 2032–2036.
- Azis Ambar, A., Priyatmojo, A., Hadisutrisno, B., & Pusposendjojo, D. N. (2010). Virulensi 9 isolat *F. oxysporum* f.sp. *Lycopersici* dan perkembangan gejala busuk pangkal umbi pada dua varietas tomat di rumah kaca. *Agrin*, 14(2), 89–96.
- Azniza, V. (2014). *Sistem Konvensional Dan Organik Dan Potensinya Sebagai*. 14(1), 16–24.

- Aswini, A., Sharmila, T., Raaga, K., R, S. D., & Krishna, M. S. R. (2016). In vitro antifungal activity of *Trichoderma* strains on patogenic fungi inciting hot pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 8(4), 425–430
- Barakat, F. M., Abada, K. A., Abou-Zeid, N. M., & El-Gammal, Y. H. E. (2014). Effect of Volatile and Non-Volatile Compounds of *Trichoderma* spp. on *Botrytis Fabae* the Causative Agent of Faba Bean Chocolate Spot. *American Journal of Life Sciences*, 2(6), 11. <https://doi.org/10.11648/j.ajls.s.2014020602.12>
- Basuki, R. S., Khaririyatun, N., & Sembiring, A. (2017). Studi Adopsi Varietas Bawang Merah Bima Brebes dari Balitsa di Kabupaten Brebes (Adoption Study of Bima Brebes Shallot from IVEGRI in Brebes District). *J.Hort.*, 27(2), 261–268.
- Berliana, I., & Nugroho, S. A. (2013). Potensi Ekstrak Buah Maja (*Aegle marmelos* (L) Corr.) Sebagai fungisida nabati penyakit cendawan akar Putih (*Rigidoporus microporus*). *Prosiding Seminar Nasional Pertanian Peternakan Terpadu 2, 1904*, 163–171.
- Cook R.J., & Baker K.F., 1983. The nature and practice of biological kontrol of plant pathogens. *The American Phytopathological Society*, St. Paul, Minnesota 539 p.
- Dai, C. C., Yu, B. Y., & Li, X. (2008). Screening of endophytic fungi that promote the growth of *Euphorbia pekinensis*. *African Journal of Biotechnology*, 7(19), 3505–3510.
- Darmanto, I. W., Supriyatdi, D., & Sudirman, A. (2019). Pengendalian Ulat grayak (*Spodoptera litura* F.) dengan Ekstrak Ubi Gadung dan Ekstrak Buah Maja (Armyworm [*Spodoptera litura* F.] Management using *Dioscorea* Tuber and *Aegle* Fruit Extract). *Jurnal Agro Industri Perkebunan*, 7(1), 23–30.
- Das, B. B., & Dkhar, M. S. (2011). Rhizosphere Microbial Populations and Physico Chemical Properties as Affected by Organic and Inorganic Farming Practices. & *Environ. Sci*, 10(2), 140–150.
- Dubey, N. K., Srivastava, B., & Kumar, A. (2008). Current Status of Plant Products as Botanical Pesticides in storage pest management. *Biopesticides*, 1(2), 182–186.
- Fety, Khotimah, S., & Mukarlina. (2015). Uji Antagonis Cendawan Rhizosfer Isolat Lokal terhadap *Phytophthora* sp. yang Diisolasi dari Batang Langsung (*Lansium domesticum* Corr.). *Jurnal Protobion*, 4(1), 218–225.
- Forte, F. P., Schmid, J., Dijkwel, P. P., Nagy, I., Hume, D. E., Johnson, R. D., Simpson, W. R., Monk, S. M., Zhang, N., Sehrish, T., & Asp, T. (2020). Fungal Endophyte Colonization Patterns Alter Over Time in the Novel Association Between *Lolium perenne* and *Epichloë* Endophyte AR37. *Frontiers in Plant Science*, 11(October), 1– 10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.570026>
- Hadiwiyono, Sudadi & Claudia, SS. 2014. Cendawan Pelarut Fosfat untuk Menekan Penyakit Moler (*F. oxysporum* f. sp. *cepae*) dan Meningkatkan Pertumbuhan Bawang Merah. *Journal of Soil Science and Agroclimatology* 11(2): 130 – 138.
- Handelsman, J., & Stabb, E. V. (1996). Biokontrol of soilborne plant pathogens. *Plant Cell*, 8(10), 1855–1869. <https://doi.org/10.1105/tpc.8.10.1855>
- Hasanuddin. (2013). *Prosiding Seminar Nasional 2013, Pekanbaru. November*, 26–31.
- Hasiani, V. V., Ahmad, I., & Rijai, L. (2015). Isolasi Cendawan Endofit dan Produksi Metabolit Sekunder Antioksidan dari Daun Pacar (*Lawsonia inermis* L.). *Jurnal Sains Dan Kesehatan*, 1(4), 146–153. <https://doi.org/10.25026/jsk.v1i4.32>
- Hutabalian, M., Pinem, M., & Oemry, S. (2015). Uji Antagonisme Beberapa Cendawan Saprofit Dan Endofit Dari Tanaman Pisang Terhadap *Fusarium Oxysporum* F.Sp. *Cubens* Di Laboratorium. *Jurnal Agroekoteknologi Universitas Sumatera Utara*, 3(2), 104451.
- Jeyaseelan, E., Tharmila, S., & Niranjana, K. (2012). Antagonistic activity of *Trichoderma* spp. and *Bacillus* spp. against *Pythium aphanidermatum* isolated from tomato damping off. *Archives of Applied Science Research*, 4(4), 1623–1627.

- Juwanda, M., Khotimah, K., & dan Amin, M. (2016). Peningkatan Ketahanan Bawang Merah Terhadap Penyakit Busuk pangkal umbi Melalui Induksi Ketahanan Dengan Asam Salisilat Secara Invitro. *Agrin*, 20(1), 15–28.
- Kardinan, A. (2011). Penggunaan Pestisida Nabati Sebagai Kearifan Lokal Dalam Pengendalian Hama Tanaman Menuju Sistem Pertanian Organik. *Pengembangan Inovasi Pertanian*, 4(4), 262–278. file:///C:/Users/MUTI/AppData/Local/Mendeley Ltd./Mendeley Desktop/Downloaded/Menuju, Pertanian - 2011 - Kearifan Lokal Dalam Pengendalian Hama.Pdf
- Kedang, V. M. K., Rianto, R. A., Al Kholik, I. A., & Hadi, U. K. (2020). Uji Potensi Ekstrak Daun Biduri (*Calotropis gigantea*) sebagai Akarisida terhadap Investasi Gurem (*Ornithonyssus bursa*) pada Ayam Buras. *Jurnal Medik Veteriner*. <https://doi.org/10.20473/jmv.vol3.iss2.2020.208-215>
- Kurniati, A., & Ali, M. (2018). Isolasi dan Uji Antagonis Cendawan Asal Rhizosfer Tanaman Bawang Merah (*Allium ascalonicum* L.) Terhadap *Alternaria porri* Ellis Cif. *JOM Faperta UR*, 5(1), 1–9.
- Latifah, A., Kustantinah, ., & Soesanto, L. (2011). Pemanfaatan Beberapa Isolat *Trichoderma harzianum* Sebagai Agen Pengendali Hayati Penyakit Busuk pangkal umbi Pada Bawang Merah In Planta. *Eugenia*, 17(2), 86–95. <https://doi.org/10.35791/eug.17.2.2011.4105>
- Lenc, L., Kwasna, H., Jeske, M., Jonczyk, K., & Sadowski, C. (2016). Fungal pathogens and antagonists in root-soil zone in organic and integrated systems of potato production. *Journal of Plant Protection Research*, 56(2), 167–177. <https://doi.org/10.1515/jppr-2016-0029>
- Lestari, F., & Wida D., 2014. Uji Efikasi Ekstrak Daun dan Biji Tanaman Suren, Mimba, dan Sirsak terhadap Mortalitas Hama Ulat Gaharu. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman* 11(3): 165 – 171.
- Mandepudi, B. (2013). *Experimental Studies on Antioxidant Properties of Calotropis gigantea Solvent Extracts*. May.
- Marsadi, D., Supartha, I. W., & Sunari, A. A. A. S. (2017). Invasi dan Tingkat Serangan Ulat Bawang (*Spodoptera exigua* Hubner) pada Dua Kultivar Tanaman Bawang Merah di Desa Songan, Kecamatan Kintamani, Kabupaten Bangli. *Jurnal Agroekoteknologi Tropika*, 6(4), 360–369. <https://ojs.unud.ac.id/index.php/JAT>
- Mejía, L. C., Rojas, E. I., Maynard, Z., Bael, S. Van, Arnold, A. E., Hebbbar, P., Samuels, G. J., Robbins, N., & Herre, E. A. (2008). Endophytic fungi as biokontrol agents of *Theobroma cacao* pathogens. *Biological Kontrol*, 46(1), 4–14. <https://doi.org/10.1016/j.biokontrol.2008.01.012>
- Moekasan, T. K., Setiawati, W., Hasan, F., Runa, R., & Somantri, A. (2013). Penetapan Ambang Pengendalian *Spodoptera exigua* pada Tanaman Bawang Merah Menggunakan Feromonoid Seks. *Jurnal Hortikultura*, 23(1), 80. <https://doi.org/10.21082/jhort.v23n1.2013.p80-90>
- Musdalifa, Ambar, A. A., & Putera, M. I. (2017). Pemanfaatan agen i hayati dalam mengendalikan pertumbuhan perakaran dan penyakit Busuk pangkal umbi cabai besar (*Capsicum annum* L) Utilization of biological agencies in kontrolling root growth and basal rotin chili (*Capsicum annum* L). *Jurnal Galung Tropika*, 6(3), 224–233.
- Nagamani, P., Bhagat, S., Biswas, M. K., & Viswanath, K. (2017). Effect of Volatile and Non Volatile Compounds of *Trichoderma* spp. against Soil Borne Diseases of Chickpea. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(7), 1486–1491. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.607.177>

- Noviyanty, Y., Hepiyansori, & Agustian, Y. (2020). Identifikasi dan penetapan kadar senyawa tanin pada kstrak daun biduri (*Calotropis gigantea*) metode spektrofotometri UV-Vis. *Jurnal Ilmiah Manuntung*, 6(1), 57–64. http://jurnal.akfarsam.ac.id/index.php/jim_akfarsam/article/view/307
- Nurani, A. R., Sudiarta, I. P., & Darmiati, N. N. (2018). Uji Efektifitas Cendawan *Beauveria bassiana* Bals . terhadap Ulat Grayak (*Spodoptera litura* F .) pada Tanaman Tembakau. *Jurnal Agroekoteknologi Tropika*, 7(1), 11–23.
- Nurbailis, N., Martinius, M., & Azniza, V. (2014). Keanekaragaman Cendawan Pada Rhizosfer Tanaman Cabai Sistem Konvensional Dan Organik Dan Potensinya Sebagai Agen Pengendali Hayati *Colletotrichum gloeosporioides*. *Jurnal Hama Dan Penyakit Tumbuhan Tropika*, 14(1), 16–24. <https://doi.org/10.23960/j.hptt.11416-24>
- Nusyirwan. (2013). Studi Musuh Alami (*Spodoptera Exigua* Hbn) pada Agroekosistem Tanaman Bawang Merah. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, 13(1), 33–37.
- Ozyigit, I. I., Kahraman, M. V., & Ercan, O. (2007). Relation between explant age, total phenols and regeneration response in tissue cultured cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *African Journal of Biotechnology*, 6(1), 003–008.
- Paparang, M., Memah, V. V., & Kaligis, J. B. (2016). Populasi Dan Persentase Serangan Larva *Spodoptera Exigua* Hubner Pada Tanaman Bawang Daun Dan Bawang Merah Di Desa Ampreg Kecamatan Langowan Barat. *Cocos*, 7(7), 1–10.
- Prakash, P., & Karthick Raja Namasivayam, S. (2014). Screenig of bioactive compounds by Gc-Ms from *fusarium venenatum*. *International Journal of PharmTech Research*, 6(6), 1833–1837.
- Purwantisari, S.-, & Hastuti, R. B. (2012). Isolasi dan Identifikasi Cendawan Indigenous Rhizosfer Tanaman Kentang dari Lahan Pertanian Kentang Organik di Desa Pakis, Magelang. *Bioma : Berkala Ilmiah Biologi*, 11(2), 45. <https://doi.org/10.14710/bioma.11.2.45-53>
- Putri, W. K., Khotimah, S., & Linda, R. (2015). Cendawan Rhizosfer Sebagai Agen Antagonis Pengendali Penyakit Lapuk *Fusarium* Pada Batang Tanaman Karet (*Hevea brasiliensis* MuellArg). *Jurnal Protobiont*, 4(3), 14–18.
- Rahayu, M. (2013). Ragam penyakit tular tanah pada tanaman aneka kacang dan strategi pengendalian non kimiawi. *Prosiding Seminar Hasil Penelitian Tanaman Aneka Kacang Dan Umbi*, 816–830.
- Rahmad Bernadip Bayu, at all. (2014). Keanekaragaman Cendawan dan Bakteri Rhizosfer Bawang Merah Terhadap Patogen Moler. *Sains Tanah-Jurnal Ilmu Tanah Dan Agroklimatologi*, 11(1), 52–60.
- Rismayani. (2013). Manfaat Buah Maja Sebagai Pestisida Nabati Untuk Hama Penggerek Buah Kakao (*Conopomorpha cramerella*). *Warta Penelitian Dan Pengembangan Tanaman Industri*, 19(3), 1–3.
- Saenong, M. S. (2017). Tumbuhan Indonesia Potensial sebagai Insektisida Nabati untuk Mengendalikan Hama Kumbang Bubuk Jagung (*Sitophilus* spp.). *Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Pertanian*, 35(3), 131. <https://doi.org/10.21082/jp3.v35n3.2016.p131-142>
- Safrida, Rosa Mardiana, & Husna, N. (2021). Uji Efek Anti Fungi Ekstrak Daun Biduri (*Calotropis gigantea* L.) Terhadap Pertumbuhan Cendawan *Trichophyton mentagrophytes*. *Pharmauho: Jurnal Farmasi, Sains, Dan Kesehatan*, 7(1), 17. <https://doi.org/10.33772/pharmauho.v7i1.13841>
- Santoso, S. E., & Soesanto, L. (2012). Penekanan Hayati Penyakit Moler Pada Bawang Merah Dengan *Trichoderma Harzianum*, *Trichoderma Koningii*, Dan *Pseudomonas Fluorescens* P60. *Jurnal Hama Dan Penyakit Tumbuhan Tropika*, 7(1), 53–61.

- Schröder, P., & Hartmann, A. (2003). New developments in rhizosphere research. *Journal of Soils and Sediments*, 3(4), 227. <https://doi.org/10.1007/BF02988661>
- Suprapti, S., Djarwanto, D., & Komarayati, S. (2018). Pemanfaatan Sisa Media Cendawan Pelapuk Pada Dekomposisi Limbah Padat Pulp *Acacia.mangium*. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 35(4), 243254. <https://doi.org/10.20886/jphh.2017.35.4.243-254>
- Supriadi. (2013). Optimasi Pemanfaatan Beragam Jenis Pestisida Untuk Mengendalikan Hama Dan Penyakit Tanaman. *Jurnal Litbang Pertanian*, 32(1), 1–9.
- Suryaningsih, E., & Hadisoeganda, W. W. (2014). Pestisida botani untuk mengendalikan hama dan penyakit pada tanaman sayuran.
- Suriani, A. Sebayang, H. Mirsam, S. Pakki, M. Azrai & A. Muis (2021), Kontrol of *Fusarium verticillioides* on corn with a combination of *Bacillus subtilis* TM3 formulation and botanical pesticides.
- Susanti, D., Mulyadi, & Wiyatiningsih, S. (2016). Karakterisasi Isolat-Isolat *F. oxysporum f.sp. cepae* Penyebab Penyakit Moler Pada Bawang Merah Dari Daerah Nganjuk Dan Probolinggo. *Plumula*, 5(2), 153–160.
- Tambingsila, M. (2016). Identifikasi dan uji efektivitas cendawan rhizosfer tanaman kakao sebagai antagonis pengendali (*Phytophthora palmivora* B.) penyebab busuk buah kakao. *Jurnal Agropet*, 13(1), 12–23.
- Tarjoko, T., & Mujiono, M. (2021). Aplikasi Pestisida Nabati Maja - Gadung dan Metabolit Sekunder *Beauveria Bassiana* Bals. Untuk Mengendalikan Hama Thrips Sp. Pada Tanaman Cabai Rawit. *Proceedings Series on Physical & Formal Sciences*, 2, 187–193. <https://doi.org/10.30595/pspfs.v2i.179>
- Triwidodo, H., & Tanjung, M. H. (2020). Hama Penyakit Utama Tanaman Bawang Merah (*Allium Ascalonicum*) dan Tindakan Pengendalian di Brebes, Jawa Tengah. *Agrovigor: Jurnal Agroekoteknologi*, 13(2), 149–154. <https://doi.org/10.21107/agrovigor.v13i2.7131>
- Tukiran, Pramudya, A., Wardana, Nurlaila, E., Santi, A. M., & Hidayati, N. (2016). Analisis Awal Fitokimia pada Ekstrak Metanol Kulit Batang Tumbuhan *Syzygium* (*Myrtaceae*). *Prosiding Seminar Nasional Kimia Dan Workshop, September*, 2–8.
- Tyśkiewicz, R., Nowak, A., Ozimek, E., & Jaroszuk-ściseł, J. (2022). Trichoderma: The Current Status of Its Application in Agriculture for the Biokontrol of Fungal Phytopatogens and Stimulation of Plant Growth. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(4). <https://doi.org/10.3390/ijms23042329>
- Vega, F. E., Posada, F., Catherine Aime, M., Pava-Ripoll, M., Infante, F., & Rehner, S. A. (2008). Entomopatogenic fungal endophytes. *Biological Kontrol*, 46(1), 72–82. <https://doi.org/10.1016/j.biokontrol.2008.01.008>.
- Widiantini, F., Nasahi, C., Yulia, E., & Noviyawati, S. (2018). Potensi Metabolit Sekunder Asal Bakteri Endofit dalam Menekan Pertumbuhan Miselium *Ganoderma boninense*. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*, 14(3), 104. <https://doi.org/10.14692/jfi.14.3.104>.
- Waterhouse, A. 1999. *Follin-Ciocalteau Micro Method for Total Phenol in Wine*. <https://waterhouse.ucdavis.edu/folin-ciocalteau-micro-method-total-phenol-wine> 9/04/2022
- Witono, Y. (2008). Deklorofilasi Ekstrak Protease Dari Tanaman Biduri (*Calotropis gigantea*) Dengan Absorban Celite. *Berkala Penelitian Hayati*. <https://doi.org/10.23869/bphjbr.13.2.20084>

BAB II

ISOLASI, IDENTIFIKASI, UJI ANTAGONIS DAN UJI SINERGITAS DARI CENDAWAN RHIZOSFER BAWANG MERAH DAN UJI DAYA HAMBAT EKSTRAK TANAMAN TERHADAP *F. OXYSPORUM* DAN CENDAWAN ANTAGONIS

ABSTRAK

Latar Belakang. Penyakit busuk pangkal pada bawang merah disebabkan oleh cendawan *F. oxysporum*. Pengendalian yang ada saat ini, seringkali tidak memadai dalam mengendalikan penyakit ini. **Tujuan** penelitian ini bertujuan menguji daya hambat dari cendawan antagonis rhizosfer bawang merah dan kemampuan ekstrak tanaman biduri bersama buah maja (MacBio) dalam menghambat pertumbuhan cendawan *F. oxysporum* secara invitro. **Metode.** Penelitian ini dilakukan secara in-vitro dengan 5 tahap yakni diantaranya (1) Isolasi cendawan Rhizosfer Bawang Merah (2) Pemurnian dan Identifikasi Isolat (3) Uji antagonis cendawan antagonis terhadap *F. oxysporum* secara (4) Uji Sinergitas cendawan *Aspergillus sp.* dan *F. oxysporum* (5) Uji daya hambat ekstrak tanaman terhadap cendawan *F.oxysporum* dan cendawan antagonis. **Hasil** isolasi dan identifikasi didapatkan *Aspergillus niger*, *Aspergillus fumigatus* dan *Aspergillus flavus*. Dengan uji antagonis secara invitro terlihat bahwa ketiga cendawan ini mampu menghambat perkembangan *F. oxysporum*, terlihat bahwa cendawan *A. niger* memiliki daya hambat 65%, *A. flavus* 63% dan *A. fumigatus* 50% pada pengamatan hari ke tujuh. Pada uji sinergitas memperlihatkan bahwa cendawan *A. flavus* tidak saling menghambat dengan ke dua cendawan tersebut. Hasil uji daya hambat ekstrak tanaman biduri dan buah maja (MacBio) terlihat adanya kemampuan untuk menghambat perkembangan cendawan *F. oxysporum* dan cendawan antagonis *A. niger* dan *A. fumigatus* namun tidak signifikan hambatannya untuk *A. flavus* sehingga *A. flavus* dapat dikombinasikan dengan MacBio sebagai alat pengendali alternatif penyakit bawang merah yang disebabkan oleh cendawan *F. oxysporum*. **Kesimpulan** bahwa cendawan *A. flavus* dan *A. niger* dapat dijadikan alat pengendali alternatif terhadap penyakit bawang merah busuk pangkal umbiyang disebabkan oleh cendawan *F.oxysporum* begitu juga dengan MacBio mampu menekan perkembangan *F.oxysporun* dan dapat dikombinasikan dengan *A.flavus* sebagai alat pengendali.

Kata kunci: *A. flavus*, *A. niger*, *A. fumigatus*, serangan penyakit, *F. oxysporum*, antagonis, rhizosfer, ekstrak tanaman.

2.1. Pendahuluan

Rhizosfer merupakan bagian dari tanah yang memiliki aktivitas metabolisme tertinggi, yang didefinisikan sebagai volume tanah yang berada di sekitar perakaran tanaman dan berperan sebagai pertahanan luar bagi tanaman terhadap serangan patogen akar dan dipengaruhi oleh pertumbuhan dan metabolisme akar tanaman (Amaria et al., 2015) dan rhizosfer juga merupakan tempat ideal untuk perkembangan mikroba tanah, termasuk agen hayati (Tambingsila, 2016). Tanaman dan mikroba saling menstimulasi yang disebabkan oleh eksudat akar (Schroder & Hartmann, 2003). Cendawan rhizosfer merupakan salah satu faktor biotik yang dapat menginduksi ketahanan tanaman terhadap penyakit. Cendawan yang ada di rhizosfer dapat melindungi tanaman terhadap patogen dan meningkatkan kesuburan pertumbuhan tanaman sehingga digolongkan sebagai cendawan pemacu kesuburan pada tanaman (Fety et al., 2015), dan banyak cendawan tanah berperan penting dalam dekomposisi tanah (Suprapti et al., 2018).

Mikroorganisme menguntungkan yang berada disekitar rhizosfer sangat melimpah jumlahnya. Menurut (Purwantisari & Hastuti, 2012) bahwa populasi mikroorganisme di rhizosfer biasanya lebih banyak dan beragam dibandingkan pada tanah bukan rhizosfer, yang digunakan untuk mengendalikan patogen tular tanah, termasuk juga dalam pengendalian penyakit yang diakibatkan oleh *F. oxysporum*. Mikroorganisme menguntungkan sangat melimpah jumlahnya, baik yang berada di sekitar perakaran maupun jaringan tanaman (endofit) dan kelompok *Trichoderma* yang saat ini sudah dikembangkan sebagai agen hayati (Tyskiewicz et al., 2022).

Keanekaragaman hayati pada sistem pertanian konvensional dan organik jauh berbeda, pada pertanian organik penggunaan kompos dan agen hayati lebih diutamakan (Azniza, 2014). Penggunaan berbagai kombinasi bahan organik berupa vermikompos, pada tanaman kentang menunjukkan kepadatan propagul cendawan yang tertinggi didapatkan pada perlakuan kombinasi tanah dan kompos (1:2) (Basuki et al., 2017). Aplikasi plant kompos dan vermikompos dapat meningkatkan populasi mikroba pada rhizosfer tanaman kedelai dibanding dengan aplikasi pupuk NPK (Das & Dkhar, 2011). Lenc et al. (2016) melaporkan bahwa pada rhizosfer tanaman kentang pada fase pembungaan berhasil diisolasi 82 isolat cendawan antagonis dari sistem organik dan 42 isolat dari sistem pertanian terpadu. cendawan yang didapat terutama dari genus *Trichoderma* dan *Gliocladium*. Purwantisari & Hastuti (2012) menunjukkan isolasi cendawan dari rhizosfer tanaman kentang yang dikelola dengan sistem organik didapatkan 8 isolat, terdiri atas: 2 isolat genus *Trichoderma*, 1 isolat *Penicillium*, 2 isolat

Phytophthora, 1 isolat *Mucor* dan 2 isolat belum diketahui genusnya. Penelitian oleh Nurbailis et al. (2014) juga menemukan bahwa terdapat keberagaman cendawan di rhizosfer cabai pada sistem organik, diperoleh 28 isolat cendawan, sedangkan sistem konvensional ditemukan 24 isolat. Isolat tersebut masuk ke dalam genus: *Trichoderma*, *Paecilomyces*, *Aspergillus* dan satu isolat belum diketahui genusnya. Cendawan antagonis asal rhizosfer beberapa tanaman telah dilaporkan memiliki kemampuan dalam menekan penyakit tanaman, diantaranya cendawan genus *Trichoderma*, *Penicillium*, dan *Chaetomium* mampu menekan penyakit busuk pangkal umbi pada tanaman karet sebesar 18,07 – 51,08% (Putri et al., 2015). Ditemukan 16 isolat cendawan yang diisolasi dari rhizosfer bawang merah dan memiliki kemampuan antagonis terhadap *Alternaria porri* sebesar 4,49 – 59,90% (Kurniati & Ali, 2018). Selain itu, hasil temuan Adhi & Suganda (2020) mengungkapkan 11 isolat cendawan dari rhizosfer pertanaman bawang merah yang bersifat antagonis secara in-vitro bersifat terhadap *Foc* dengan penghambatan sebesar 65,58% hingga 84,71% dan 2 isolat dari genus *Aspergillus* dan *Paecilomyces* memiliki kemampuan memicu perkecambahan benih bawang merah.

Penggunaan cendawan antagonis untuk menekan dampak negatif pestisida sintetik dapat dipadukan dengan pengenalan pestisida nabati yang memiliki efektivitas sebanding dengan pestisida sintetik. (Suryaningsih & Hadisoeganda, 2014). Pestisida nabati adalah pestisida yang dibuat dari tumbuh-tumbuhan yang residunya mudah terurai di alam. Beberapa tumbuhan telah diketahui memiliki kandungan zat-zat kimia dalam bentuk senyawa sekunder yang berperan penting dalam proses berinteraksi dan melindungi diri dari gangguan kompetitornya (Saenong, 2017). Produk metabolit sekunder dapat dimanfaatkan sebagai bahan aktif pestisida nabati (Dubey et al., 2008) dan juga digunakan oleh tumbuhan sebagai alat pertahanan dari serangan organisme pengganggu berpotensi untuk pengendalian hama pada tanaman (Dono, dkk, 2013).

Menurut Arannilewa et al., (2006) menyatakan bahwa metabolit sekunder yang sudah teridentifikasi pada tumbuhan ada sekitar 10 ribu jenis, yang mempunyai potensi sebagai pestisida nabati ada sekitar 400 ribu jenis. Di Indonesia, jenis tumbuhan penghasil pestisida nabati tersebar dalam 235 famili dengan 2.400 jenis tanaman (Kardinan, 2011). Salah satu tanaman yang digunakan sebagai pestisida nabati adalah tanaman maja dan biduri (*Calotropis gigantea*). Maja adalah tanaman yang kurang dipedulikan dengan masyarakat, sedangkan buah maja ini memiliki kandungan senyawa metabolit sekunder yaitu senyawa tanin dan saponin yang tidak disukai oleh hama. Berliana & Nugroho (2013) mengungkapkan bahwa ekstrak buah maja mampu menekan

penyakit cendawan akar putih pada tanaman karet. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Aprialty et al. (2021) mengungkapkan bahwa ekstrak tanaman maja dapat menghambat bertelur dan makan *Spodoptera frugiperda*. Tarjoko & Mujiono (2021) bahwa perlakuan pupuk organik ecofarming dan pestisida nabati maja-gadung dapat menekan populasi kutu daun

Kandungan senyawa kimia yang terdapat pada buah maja memberikan pengaruh negatif terhadap hama seperti, kandungan saponin dan tanin yang tidak disukai oleh hama *Spodoptera litura* (Darmanto et al., 2019. Rismayani, 2013) menyatakan bahwa buah maja mengandung linonen, minyak atsiri, pectin, saponin dan tannin. Daging buahnya mengandung substansi semacam minyak balsem, 2-furo-coumarins- psoralen dan marmelosin (C₁₃H₁₂O). Tanaman biduri adalah tumbuhan yang sering digunakan oleh masyarakat sebagai obat tradisional seperti obat batuk, gatal-gatal, obat sakit gigi, obat sakit telinga, epilepsi dan diare (Noviyanty et al., 2020), dan dapat digunakan sebagai anti jamur (Safrida dkk., 2021). Kemampuan tanaman biduri menghambat cendawan karena mengandung senyawa aktif sebagai antifungi dengan mekanisme yang dimiliki tannin, yaitu kemampuannya menghambat sintesis khitin yang digunakan untuk pembentukan dinding sel pada fungi dan merusak membran sel sehingga, pertumbuhan fungi terhambat. Witono (2008), menemukan getah tanaman biduri yang diekstrak menghasilkan enzim protease dan berfungsi sebagai antioksidan.

Penelitian yang memanfaatkan tanaman biduri sebagai bentuk pengendali hama maupun patogen cendawan telah dilakukan oleh Ahmad (2020) menemukan bahwa ekstrak daun biduri secara fotokemikal, antimikroba dan fitokemikal; menghambat pertumbuhan cendawan *Trichophyton mentagrophytes* (Safrida dkk., 2021), selain itu pada penelitian Aprialty et al. (2021) menguji sinergisitas biduri dan maja mengurangi nafsu makan dari *S. frugiperda*.

Pemanfaatan cendawan antagonis dan pestisida nabati sangat punya potensi untuk dikembangkan baik secara sendiri sendiri dan juga bisa dipadukan sebagai alat pengendali patogen dan hama tanaman pengganti pestisida kimia dan ramah lingkungan. Untuk perlu adanya penelitian tentang kemampuan antagonis, sinergitas dari beberapa cendawan antagonis dari rhizosfer bawang merah dan daya hambat ekstrak tanaman MacBio terhadap *F. oxysporum* dan cendawan antagonis rhizosfer bawang merah.

2.2 Metode Penelitian

2.2.1 Bahan

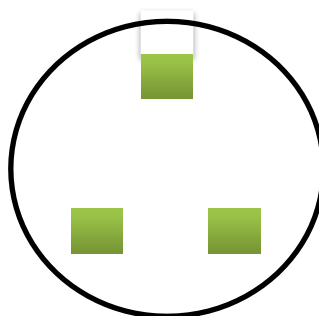
Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu cawan petri steril, pinset, jarum preparat, *cork borer*, tube, pipet effendorf, tip, spatula, Erlenmeyer 500 ml, bunsen, korek, gunting, corong, neraca, panci, *hot plate*, mikroskop, pisau, *autoclave*, inkubator, *Laminar Air Flow* (LAF), penggaris, alat tulis.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu kentang, agar-agar, gula, aquades, tissue, label, wrapping, kertas saring, chloramphenicol, aluminium foil, spiritus, alkohol 70%, NaOCl 2,5%, sampel bawang merah dan tanah rhizosfer

2.2.2 Pelaksanaan

Isolasi cendawan Rhizosfer Bawang Merah

Isolasi sampel bawang merah dilakukan dengan mengambil beberapa umbi tanaman bawang, kemudian sampel dibersihkan dengan air mengalir dan dipotong-potong menjadi ukuran sekitar 1 cm. Bagian tanaman tersebut disterilisasi permukaan dengan cara merendam dalam larutan alkohol 70% selama 1 menit kemudian dipindahkan kedalam larutan NaOCl 2,5% selama 3 menit, dikeringkan dan dimasukkan kembali kedalam larutan alkohol 70% selama 30 detik kemudian dilakukan sebanyak 2 kali. Terakhir dicuci dua kali dengan aquades. Potongan tanaman dikeringkan dengan kertas saring steril dan ditempatkan dalam cawan petri yang telah berisi media *Potato Dextrosa Agar*. Masing-masing cawan petri berisi 3 potongan jaringan tanaman.



Gambar 21. Peletakan Sampel pada Media *Potato Dextrosa Agar* (PDA)

Isolasi mikroba tanah dilakukan dengan metode pengenceran, metode ini menggunakan 4 tabung reaksi untuk 3 kali pengenceran, masing-masing tabung reaksi berisi aquades sebanyak 9 ml kemudian disterilkan menggunakan autoclave selama \pm 2 jam dengan suhu 121°C. Selanjutnya sampel tanah rhizosfer ditimbang sebanyak 1 gram dan di masukkan kedalam tabung reaksi yang berisi 9 ml aquades steril kemudian dihomogenkan selama beberapa menit. Sampel yang telah dihomogenkan diambil

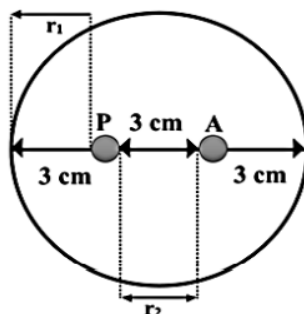
sebanyak 1 μl menggunakan pipet eppendorf lalu dimasukkan kedalam tabung reaksi secara berkala hingga diperoleh pengenceran 10^{-3} . Setelah melakukan pengenceran, langkah selanjutnya yaitu penumbuhan mikroba yang dilakukan dengan metode *spread* (sebaran) yaitu dengan meratakan larutan diatas permukaan media PDA sehingga mikroba yang tumbuh dapat diamati.

Pemurnian dan Identifikasi Isolat

Mikroba yang tumbuh pada metode pengenceran kemudian dimurnikan pada media PDA yang baru. Pemurnian ini dilakukan untuk memperoleh biakan murni. Pemurnian ini dapat dilakukan ketika mikroba yang tumbuh hanya sedikit. Pemurnian dapat dilakukan dengan cara memindahkan satu koloni mikroba yang tumbuh pada media PDA baru dengan menggunakan cork bohrer dan cendawan preparat. Mikroba yang telah dimurnikan selanjutnya disimpan ± 3 hari. Setelah diperoleh biakan murni, maka dapat dilakukan identifikasi baik secara makroskopis maupun mikroskopis. Identifikasi secara makroskopis dilakukan dengan mengamati karakteristik dari mikroba tersebut. Sedangkan identifikasi mikroskopis dilakukan dengan cara mengambil mikroba yang tumbuh pada media PDA menggunakan jarum preparat dan diletakkan pada *objek glass* yang telah ditetesi aquades steril kemudian ditutup menggunakan *deck glass*, kemudian dilakukan pengamatan menggunakan mikroskop.

Uji antagonis cendawan antagonis terhadap cendawan *F.oxysporum* secara In-Vitro

Uji antagonisme cendawan antagonis terhadap *F. oxysporum* penyebab penyakit busuk pangkal umbipada tanaman bawang secara *in vitro* dilakukan dengan metode dual kultur (*Dual Cuture Method*) dalam cawan petri berisi media PDA. Biakan cendawan endofit dan *F.oxysporum* diambil dengan *cork borer* lalu ditumbuhkan berdampingan dengan jarak 3 cm. Selanjutnya semua cawan petri yang berisi biakan cendawan endofit dan *F.oxysporum* tersebut ditutup rapat dan diinkubasi pada suhu ruang selama tujuh hari hari.



Gambar 2.2 Skema Penempatan Isolat untuk Uji Antagonis *In Vitro* Dengan Metode *Dual Culture* (Sumber : Ningsih *et al.*, 2016).

Uji antagonis dilakukan menggunakan metode dual kultur, dengan beberapa perlakuan antara lain sebagai berikut. Setiap kombinasi masing-masing terdiri dari tiga ulangan. Setiap cendawan yang telah ditumbuhkan pada media PDA diamati pertumbuhannya. Pertumbuhan cendawan diukur menggunakan mistar untuk melihat mana diantara kedua cendawan yang paling cepat pertumbuhannya. Parameter pengamatan yang digunakan pada penelitian uji antagonis ini antara lain sebagai berikut:

Pengukuran Persentase Daya Hambat

Pengaruh antagonisme cendawan endofit terhadap cendawan patogen dapat diketahui dengan panghitungan PIRG (*Percentage Inhibition of Radial Growth*) (Singh dan Vijay (2011) dalam Fajrin *et al* (2013).

$$\text{PIGR} = \frac{R_1 - R_2}{R_1} \times 100\%$$

Keterangan :

PIRG = *Percentace Inhibition of Radial Growth* (% hambat)

R₁ = Jari-jari cendawan patogen tanpa perlakuan (kontrol)

R₂ = Jari-jari koloni cendawan patogen dengan perlakuan uji dual kultur (*Dual Cuture Method*)

Uji Sinergitas cendawan *Aspergillus sp.* dan *F. oxysporum*

Uji sinergitas antar *F.oxysporum* yaitu menggunakan cendawan *F. oxysporum* dengan kode Isolat S2b, Isolat S2a dan cendawan *A. niger*, *A. flavus*, *A.fumigatus*. Dilakukan dengan metode dual kultur, dengan perlakuan:

- 1) *F. oxysporum* (S2b) x *F. oxysporum* (S2a)
- 2) *A. flavus* x *A. fumigatus*
- 3) *A. flavus* x *A. niger*

Setiap kombinasi masing-masing terdiri dari tiga ulangan. Cendawan *Fusarium sp.* dan cendawan diambil menggunakan *cork borer* dengan ukuran 5 mm kemudian di pindahkan kedalam cawan petri. Pertumbuhan cendawan diukur menggunakan mistar untuk melihat mana diantara keempat cendawan yang paling cepat pertumbuhannya.

Perhitungan diameter koloni diawali dengan mengukur diameter koloni secara vertikal dan horizontal dengan menggunakan penggaris yang dilakukan setiap hari hingga koloni cendawan pada perlakuan kontrol penuh. Selanjutnya data yang telah diperoleh diolah dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$D = \frac{d1 + d2}{2}$$

Keterangan :

D = Diameter pertumbuhan

d1 = Diameter pertumbuhan secara vertical

d2 = Diameter pertumbuhan secara horizontal

Setelah diperoleh hasil dari diameter pertumbuhan (D), kemudian dilakukan perhitungan persentase penghambatan dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Daya Hambat (\%)} = \frac{\text{diameter kontrol} - \text{diameter perlakuan}}{\text{diameter kontrol}} \times 100\%$$

Setelah dilakukan pengamatan pada isolat yang telah di uji sinergis kemudian hasil yang diperoleh diamati. Isolat dikatakan kompatibel bersinergis untuk dikonsorsiumkan apabila tidak terdapat zona penghambatan pada daerah pertemuan kedua isolat dan pertumbuhan tidak terhenti setelah bersinggungan.

Uji daya hambat ekstrak tanaman terhadap cendawan *F.oxysporum* dan cendawan antagonis

Uji penghambatan *F. oxysporum* dan cendawan antagonis dilakukan pada media PDA yang telah dicampur dengan MacBio dalam cawan petri yang memiliki konsentrasi berbeda. *F. oxysporum* diambil dengan *cork borer* berukuran 5 mm dan diletakkan pada bagian tengah cawan petri.

Penentuan konsentrasi media dengan komposisi PDA yang dicampur MacBio dapat dilakukan dengan pengenceran antara lain sebagai berikut:

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

Keterangan :

M₁ = Konsentrasi larutan stok yang besarnya 100%

M₂ = Konsentrasi larutan yang diinginkan

V₁ = Volume larutan stok yang harus dilarutkan

V₂ = Volume larutan perlakuan

Adapun perlakuan yang diaplikasikan dalam uji daya hambat menggunakan MacBio antara lain:

K0 = Media PDA tanpa MacBio

K1 = Media PDA + MacBio konsentrasi 2,5%

K2 = Media PDA + MacBio konsentrasi 5%

K3 = Media PDA + MacBio konsentrasi 7,5%

Masing-masing perlakuan terdiri atas tiga ulangan dengan 5 cendawan berbeda.

Daya hambat MacBio dihitung dengan menggunakan rumus:

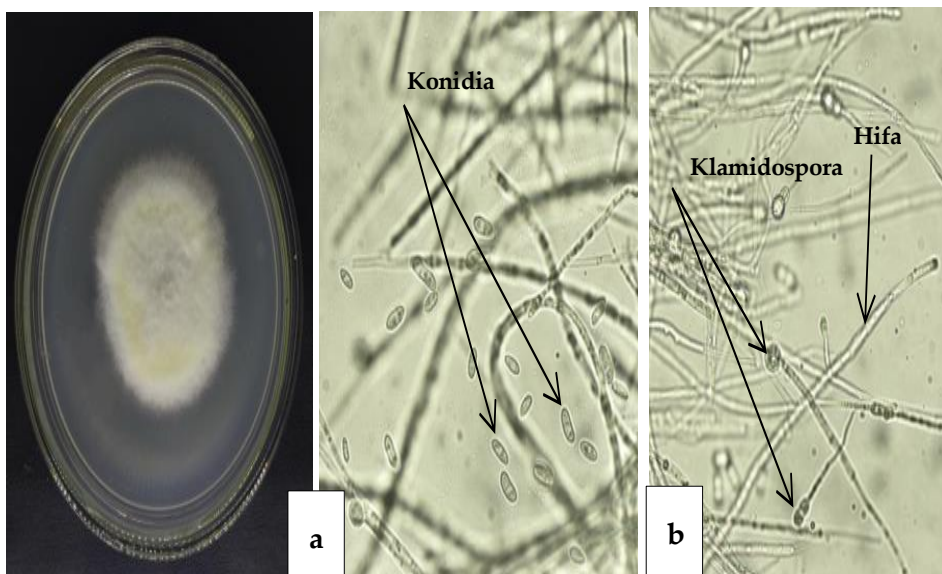
$$\text{Daya Hambat (\%)} = \frac{\text{diameter kontrol} - \text{diameter perlakuan}}{\text{diameter kontrol}}$$

2.3 Hasil dan Pembahasan

2.3.1 Hasil

1. Morfologi Cendawan yang diperoleh dari Tanaman Bawang Merah

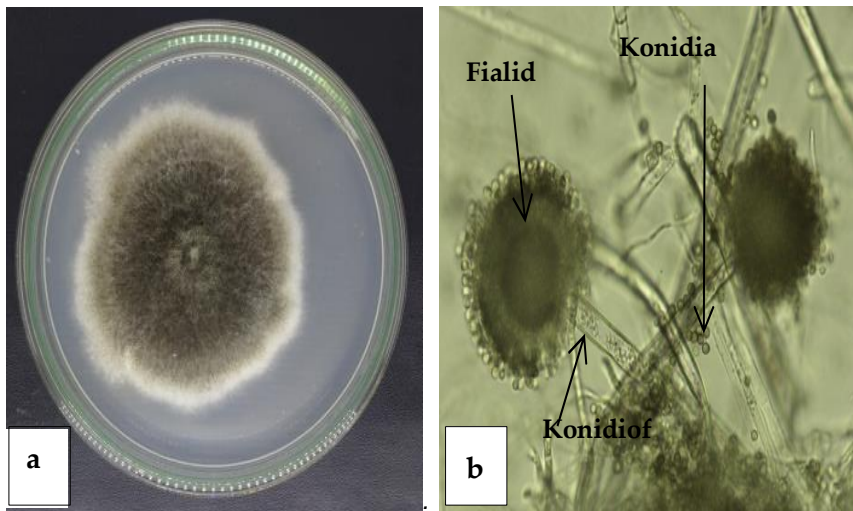
Hasil yang diperoleh dari isolasi tanaman bergejala ditemukan bahwa penyakit busuk pangkal umbi menjadi salah satu patogen yang menyebabkan tanaman mengalami masalah. Busuk pangkal umbi disebabkan oleh patogen *F. oxysporum*, yang memiliki ciri-ciri miselium berwarna kuning dengan tekstur seperti kapas, dan memiliki klamidospora sebagai kantong spora, konidia yang berbentuk melengkung dan bersepta, yang dapat dilihat pada gambar 2.3



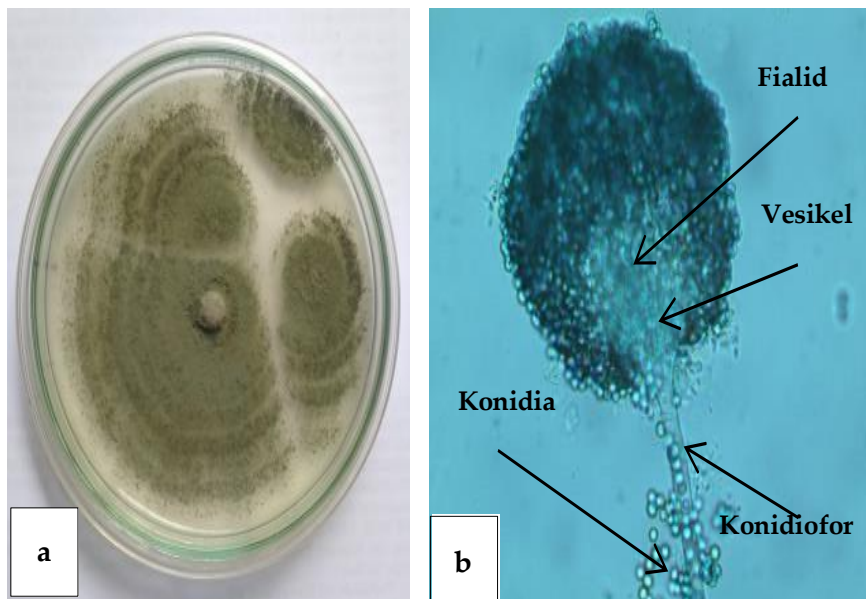
Gambar 2.3. Morfologi Cendawan *F. oxysporum*, (a) Makroskopis, (b) Mikroskopis

2. Morfologi Cendawan yang diperoleh dari Tanah Rhizosfer Bawang Merah

Hasil yang diperoleh dari isolasi tanah rhizosfer yaitu spesies cendawan yaitu *A. niger*, *A. flavus*, dan *A. fumigatus*, yang dapat dilihat pada gambar 2.4.

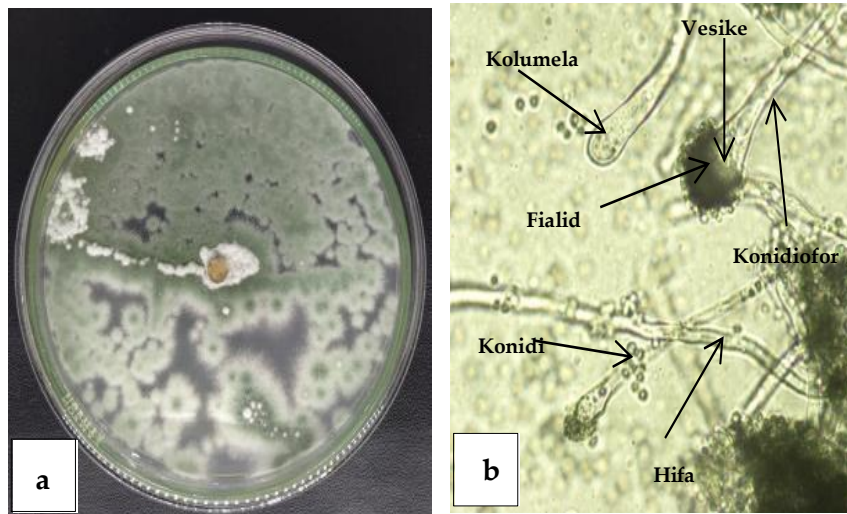


Gambar 2.4 menunjukkan makroskopis miselium berwarna hitam dengan tekstur kapas, memiliki konidia berbentuk bulat, konidiofor yang transparan, dan memiliki fialid yang mengikat spora.



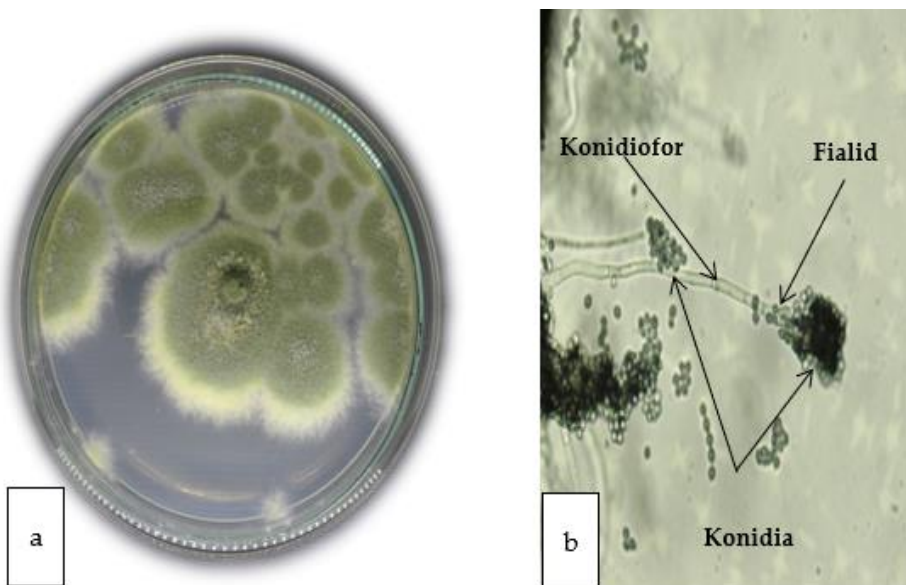
Gambar 2.5. Morfologi Cendawan *A. flavus*, (a) Makroskopis, (b) Mikroskopis

Gambar 2.5 menunjukkan makroskopis miselium berwarna hijau dengan tekstur serbuk, memiliki konidia berbentuk bulat, konidiofor yang transparan, memiliki fialid yang mengikat spora, dan vesikel sebagai penghubung dengan fialid.



Gambar 2.6. Morfologi Cendawan *A. fumigatus*, (a) Makroskopis, (b) Mikroskopis

Gambar 2.6 menunjukkan makroskopis miselium berwarna hijau dengan tekstur kapas yang berserbuk, memiliki konidia berbentuk bulat, konidiofor yang transparan, memiliki fialid yang mengikat spora, dan vesikel sebagai penghubung dengan fialid, serta kolumela tempat melekatnya vesikel.



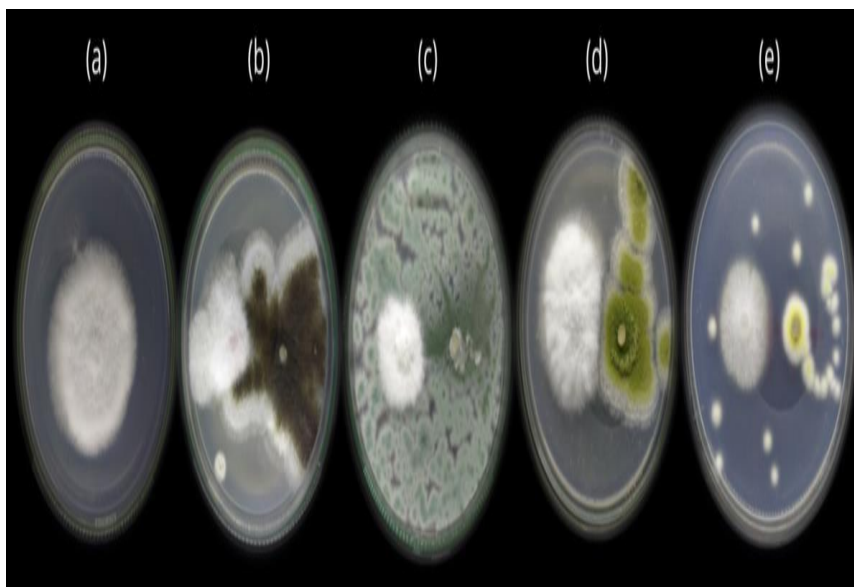
Gambar 2.7 Morfologi Cendawan *Gliocladium* sp. (a) Makroskopis, (b) Mikroskopis

Gambar 2.7 menunjukkan makroskopis koloni berwarna hijau kehitaman berbentuk melingkar (*circular*), tekstur menyerupai kapas (*cottony*) dan tepi koloni rata (*entire*) mycelium tipis tumbuh menyebar. Mikroskopis memiliki konidiofor tegak, lurus

bersekat (*septate*) dan bercabang. Konodianya berbentuk bulat dan membentuk phialide yang bercabang dengan ujung runcing.

3. Uji Antagonisme Beberapa Cendawan antagonis Terhadap *F.oxysporum*

Hasil pengujian menunjukkan bahwa cendawan rhizosfer bawang merah mampu menekan pertumbuhan *F. oxysporum* dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8. Hasil Uji Antagonis ; (a) Kontrol (*Fusarium*), (b) *A. niger*, (c) *A.fumigatus*, (d) *A. flavus*, (e) *Gliocladium* terhadap cendawan *F.oxysporum*

Tabel 2.1. Daya Hambat Beberapa Cendawan Antagonis terhadap *F.oxysporum*

Kode Isolat	Hari-3	Hari-5	Hari-7
Kontrol (<i>F. oxysporum</i>)	0a	0a	0a
<i>F. oxysporum</i> × <i>A. niger</i>	50c	58b	65b
<i>F. oxysporum</i> × <i>A. fumigatus</i>	32b	46ab	50a
<i>F. oxysporum</i> × <i>A. flavus</i>	35b	55ab	63b
<i>F. oxysporum</i> × <i>Gliocladium</i>	18a	42a	50a

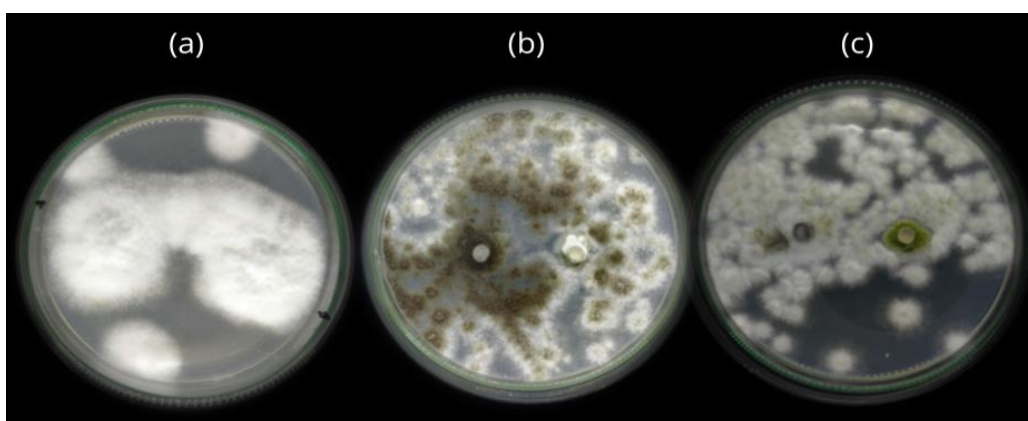
Keterangan : Angka yang diikuti dengan huruf yang sama pada baris kolom (a,b) tidak berbeda nyata

Tabel 2.1. menunjukkan bahwa cendawan antagonis mampu menghambat pertumbuhan cendawan *F. oxysporum* dengan menekan penyebaran miselium. Perlakuan pengujian *A. flavus* (63%) dan *A. niger* (65%) terhadap cendawan *F.oxysporum* menunjukkan perlakuan yang paling baik dalam menekan pertumbuhan *F.oxysporum*.

Tabel 2.1. menunjukkan bahwa perlakuan menggunakan *A. flavus* dan *A. niger* menunjukkan hasil yang paling menghambat dibandingkan dengan kontrol. Perlakuan cendawan *A. niger* yang diuji dengan *F.oxysporum* memberikan hasil penghambatan yang paling tinggi hingga 65 % sedangkan *A. flavus* 63% pada hari ke 7 setelah isolasi. Hal ini menunjukkan bahwa *A. flavus* dan *A. niger* mampu menghambat pertumbuhan patogen. Lamo & Takken (2020), mengatakan bahwa endofit memberikan biokontrol baik secara langsung dengan berinteraksi dengan patogen melalui mikoparasitisme, antibiosis, kompetisi untuk nutrisi atau secara tidak langsung dengan menginduksi mekanisme resistensi pada inang (de Lamo & Takken, 2020).

4. Uji Sinergisme Beberapa Cendawan Antagonis terhadap *F.oxysporum*

Hasil pengujian menunjukkan bahwa cendawan yang memiliki tingkat pertahanan hidup yang sama mampu bersinergi, dapat dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.9. Hasil Uji Sinergisme; (a) *F. oxysporum* x *F. oxysporum*, (b) *A.flavus* x *A. niger*, (c) *A.flavus* x *A.fumigatus*

Gambar 2.9 menunjukkan hasil yang berbeda untuk setiap perlakuan, perlakuan cendawan *F. oxysporum* hingga perlakuan *Aspergillus* sp. menunjukkan mekanisme yang saling mengikat.

Tabel 2.2. Sinergisme antar Cendawan *Aspergillus* sp. dan *F. oxysporum*

Perlakuan	Pengamatan (%)		
	Hari-1	Hari-3	Hari-5
<i>Fusarium</i> (S2b) x (S2a)	54 ^a	41 ^a	51 ^a
<i>A.flavus</i> x <i>A.fumigatus</i>	54 ^a	48 ^a	66 ^a
<i>A. flavus</i> x <i>A niger</i>	50 ^a	57 ^a	67 ^a

Keterangan : Angka yang diikuti dengan huruf yang sama pada baris kolom (a,b) tidak berbeda nyata

Tabel 2.2. menunjukkan bahwa perlakuan setiap cendawan yang diuji bersinergi satu sama lain, sehingga dalam pertumbuhan tidak saling menghambat. Dapat dilihat pada gambar 2.9., miselium yang tumbuh saling mengikat dan dari analisis statistik tidak ada yang berbeda nyata terlihat.

5. Pengaruh Perbedaan Konsentrasi MacBio Terhadap Daya Hambat Beberapa Cendawan

Hasil pengujian daya hambat konsentrasi MacBio terhadap *F.oxysporum* menunjukkan bahwa pemberian perlakuan konsentrasi ekstrak tanaman mampu menekan pertumbuhan *F. oxysporum*.

Tabel 2.3. Daya Hambat beberapa Cendawan pada Konsentrasi MacBio yang Berbeda

Konsentrasi	Pengamatan 4 HSI (%)				
	<i>Fusarium oxysporum</i>	<i>Gliocladium sp.</i>	<i>Aspergillus fumigatus</i>	<i>Aspergillus niger</i>	<i>Aspergillus flavus</i>
MacBio 2.5 %	22 ^a	30 ^a	69 ^a	55 ^a	20 ^a
MacBio 5 %	58 ^b	47 ^b	71 ^a	61 ^b	26 ^a
MacBio 7.5 %	86 ^c	82 ^c	81 ^b	68 ^c	40 ^a

Keterangan : Angka yang diikuti dengan huruf yang sama pada baris kolom (a,b) tidak berbeda nyata

Data hasil pengamatan pada tabel 2.3 menunjukkan bahwa MacBio dapat menghambat pertumbuhan *F. oxysporum* hingga 86% pada konsentrasi 7,5%. Hal ini membuktikan bahwa MacBio berpotensi dalam menekan pertumbuhan penyakit khususnya yang disebabkan oleh *F. oxysporum*. Hal ini membuktikan bahwa penggunaan MacBio dalam menekan pertumbuhan *F. oxysporum* mampu memberikan solusi dalam mengendalikan gangguan organisme pengganggu tanaman (OPT). Pengamatan uji daya hambat terhadap *Gliocladium sp.* menghambat pertumbuhan *Gliocladium sp.* hingga 82% pada konsentrasi 7,5% dan tidak kompetibel untuk dikombinasikan. Hal ini membuktikan bahwa MacBio tidak dapat dikombinasikan dengan *Gliocladium sp.* Sehingga penggunaan MacBio yang dikombinasikan dengan *Gliocladium sp.* tidak kompetibel. Kemudian saat pengujian ekstrak MacBio terhadap *A.fumigatus* dan *A. niger* menunjukkan penghambatan paling tinggi pada konsentrasi 7,5 % sebanyak 81% untuk *Aspergillus fumigatus* dan 68 % untuk *A. niger*, sehingga tidak kompetibel untuk dikombinasikan. Sedangkan data hasil pengamatan pada tabel 2.3 menunjukkan bahwa MacBio tidak menghambat pertumbuhan *A. flavus*, dengan tingkat penghambatan 40% pada konsentrasi 7,5%. Hal ini membuktikan bahwa MacBio kompetibel untuk dikombinasikan dengan *A. flavus*.

2.3.2. Pembahasan

Morfologi Cendawan yang diperoleh dari Tanaman Bawang Merah

Penelitian ini mengisolasi *F. oxysporum* dari tanaman bawang merah yang menunjukkan gejala layu. Morfologi makroskopis dan mikroskopis *F. oxysporum* yang diperoleh sesuai dengan karakteristik yang dilaporkan oleh Leslie & Summerell (2006), yaitu miselium berwarna kuning keputihan, berbentuk seperti kapas, serta menghasilkan konidia berbentuk melengkung dan klamidospora. Identifikasi patogen ini penting mengingat *F. oxysporum* merupakan penyebab utama penyakit busuk pangkal umbipada berbagai tanaman, termasuk bawang merah (Agrios, 2005).

Isolasi dan Identifikasi Cendawan Rhizosfer Bawang Merah

Hasil isolasi dari tanah rhizosfer bawang merah ditemukan ada empat spesies cendawan yaitu *A. niger*, *A. flavus*, dan *A. fumigatus* dan *Gliokladium sp.* (Gambar 2.5–2.7). Berdasarkan hasil pengamatan morfologi, *A. niger* pada penelitian ini menunjukkan ciri khas koloni berwarna hitam dengan tekstur menyerupai kapas, konidiofor hialin, serta konidia berbentuk bulat yang tersusun rapat pada fialid. Karakter ini sesuai dengan deskripsi klasik *A. niger* yang dikemukakan oleh Raper dan Fennell (1965), yang menyatakan bahwa spesies ini memiliki kepala konidia berwarna gelap hingga hitam dengan konidia globose dan permukaan halus hingga kasar. Temuan morfologis serupa juga dilaporkan oleh Samson et al. (2014), yang menegaskan bahwa warna koloni dan struktur konidiofor merupakan karakter diagnostik utama dalam identifikasi *A. niger*. Dengan demikian, hasil identifikasi *A. niger* pada penelitian ini diperkuat oleh kesesuaian karakter makroskopis dan mikroskopis dengan literatur taksonomi.

Isolat *A. flavus* pada penelitian ini memperlihatkan koloni berwarna hijau kekuningan dengan tekstur serbuk, vesikel berbentuk bulat, serta fialid yang tersusun secara jelas pada permukaan vesikel. Ciri-ciri tersebut sejalan dengan laporan Klich (2002) yang menyebutkan bahwa *A. flavus* memiliki koloni hijau hingga hijau kekuningan dengan konidia bulat dan vesikel yang berkembang baik. Konidiospora *A. flavus* biasanya berbentuk bulat hingga sub bulat dengan permukaan kasar atau beralur, dan rantai konidia yang bisa panjang namun tidak selalu teratur. *A. flavus* memiliki koloni yang berwarna hijau kekuningan hingga hijau tua, bertekstur granular dan permukaan datar, serta batas putih (Seerat et al. 2022; Suleiman, 2023). Koloni ini tumbuh cepat dan matang dalam 3-5 hari, dengan kepala konidia yang bulat dan kompak, serta vesikel yang berkembang baik dan berbentuk subglobose sebagian besar berisi metula dan phialida (Khan et al., 2020; Seerat et al, 2022). Sementara itu, morfologi mikroskopis menunjukkan konidiofor yang membengkak di ujungnya dan menghasilkan konidia dalam

rantai panjang (Cho et al., 2022).

Warna koloni dan struktur konidia dapat dipengaruhi oleh media pertumbuhan, dengan variasi warna hijau yang khas pada *A. flavus* dibandingkan dengan spesies terkait seperti *A. oryzae* yang berwarna kuning mustard (Suleiman, 2023). Penelitian Pitt dan Hocking (2009) juga menegaskan bahwa keberadaan vesikel dan fialid yang jelas merupakan ciri pembeda *A. flavus* dibandingkan spesies *Aspergillus* lainnya. Kesamaan karakter ini menunjukkan bahwa identifikasi *A. flavus* dalam penelitian ini memiliki dasar morfologi yang kuat dan konsisten dengan referensi terdahulu. Dalam studi yang dilakukan Christensen (1981) dan Klich (1986), keberadaan vesikel dan fialid merupakan ciri pembeda penting *A. flavus* dibandingkan spesies *Aspergillus* lainnya, yang dapat diamati melalui karakter morfologi mikroskopis seperti ukuran vesikel dan struktur konidiofor. Selain itu, *A. flavus* memiliki tekstur dinding konidia yang khas dan warna koloni yang berbeda, misalnya warna hijau zaitun yang membedakannya dari *A. oryzae* yang berwarna kuning mustard (Suleiman, 2023; Klich & Pitt, 1986, 1988).

Cendawan *A. fumigatus* yang diperoleh dalam penelitian ini menunjukkan koloni berwarna hijau keabu-abuan dengan tekstur berserbuk, konidia berbentuk bulat, serta keberadaan kolumela yang jelas sebagai tempat melekatnya vesikel. Karakteristik tersebut sesuai dengan deskripsi *A. fumigatus* menurut Latgé (1999), yang menjelaskan bahwa spesies ini memiliki kepala konidia kolumnar, konidia kecil berbentuk globose, serta kolumela yang berkembang jelas. Samson et al. (2014) juga melaporkan bahwa warna koloni hijau keabu-abuan dan struktur kolumela merupakan ciri penting dalam identifikasi *A. fumigatus*, sehingga memperkuat hasil identifikasi yang diperoleh pada penelitian ini. Demikian juga pada studi Lamoth F. (2016) dan Serrano et al., (2011), menemukan bahwa warna koloni *A. fumigatus* yang khas adalah hijau keabu-abuan, yang merupakan salah satu ciri penting dalam identifikasinya secara morfologis. Selain itu, struktur kolumela juga menjadi ciri penting yang membedakan *A. fumigatus* dari spesies *Aspergillus* lain.

Isolasi dari tanah rhizosfer bawang merah berhasil mengidentifikasi kehadiran cendawan *Gliocladium sp.* Morfologi makroskopis koloni *Gliocladium sp.* menunjukkan karakteristik berwarna hijau kehitaman, berbentuk melingkar, bertekstur seperti kapas dengan tepi koloni rata. Secara mikroskopis, cendawan ini memiliki konidiofor yang tegak, lurus, bersekat dan bercabang, dengan konidia berbentuk bulat serta fialid yang bercabang dengan ujung runcing (Gambar 2.7). Hasil ini sejalan dengan deskripsi morfologis *Gliocladium sp.* oleh Barnett dan Hunter (1998), genus ini dicirikan dengan struktur konidiofor yang bercabang dan konidia yang terbentuk dalam rantai basipetal.

Uji Antagonis terhadap *F. oxysporum*

Hasil uji antagonis menunjukkan bahwa semua isolat cendawan dari rhizosfer, yaitu *A. niger*, *A. flavus*, *A. fumigatus*, dan *Gliocladium* sp., secara efektif menekan pertumbuhan patogen *F. oxysporum* secara in vitro. Efektivitas ini bervariasi di antara isolat, dengan tingkat penghambatan tertinggi pada hari ke-7 pada *A. niger* (65%) dan *A. flavus* (63%), diikuti oleh *A. fumigatus* dan *Gliocladium* sp. yang menunjukkan tingkat penghambatan yang setara (masing-masing 50%) (tabel 2.1). Variasi dalam persentase penghambatan ini mengindikasikan perbedaan potensi atau mekanisme antagonis yang dimiliki oleh masing-masing isolat cendawan.

Temuan *A. niger* dan *A. flavus* memberikan inhibisi tertinggi sejalan dengan beberapa laporan sebelumnya. Penelitian oleh Mari et al. (1996) menemukan bahwa beberapa strain *A. niger* mampu menghasilkan asam organik dan enzim yang mengganggu integritas dinding sel patogen. Sementara itu, Rashad et al. (2022) melaporkan *A. flavus*, khususnya strain non-aflatoksigenik seperti *A. flavus* YRB2, memiliki kapasitas yang signifikan dalam memproduksi berbagai senyawa sekunder antifungi yang efektif melawan *Fusarium* spp., seperti *Fusarium solani* penyebab penyakit busuk akar jagung. Senyawa antifungi yang dihasilkan meliputi asam palmitat, asam α -linolenat, asam stearat, 2,4-di-tert-butylphenol, diisobutil ftalat, dan heneikosana, yang mampu menghambat pertumbuhan *Fusarium* hingga 80% secara in vitro dan menurunkan keparahan penyakit hingga 73,4% pada tanaman jagung dalam kondisi rumah kaca tanpa menghasilkan aflatoksin. Kemampuan kedua genus *Aspergillus* ini dalam bersaing secara agresif untuk ruang dan nutrisi juga sering menjadi faktor kunci dalam penghambatan patogen (Dennis & Webster, 1971).

Mekanisme antagonis yang diduga bekerja pada semua isolat, berdasarkan pola pertumbuhan dalam uji dual culture, adalah kompetisi ruang dan nutrisi. Cendawan rhizosfer tumbuh cepat dan mendominasi media sehingga membatasi akses *F. oxysporum* terhadap sumber daya yang esensial untuk pertumbuhannya. Selain itu, terdapat indikasi kuat adanya produksi senyawa metabolit sekunder yang bersifat fungistatik. Hal ini ditandai dengan adanya zona inhibisi yang jelas atau perubahan morfologi hifa patogen di area perbatasan koloni, yang merupakan ciri khas antagonisme antibiosis (Whipps, 2001). *Gliocladium* sp., misalnya, dikenal luas sebagai agen biokontrol karena kemampuannya menghasilkan gliovirin dan senyawa volatil antifungal lain (Howell, 2003). Sementara untuk *A. fumigatus*, meskipun lebih dikenal sebagai oportunistik pada manusia, beberapa strain lingkungan dilaporkan menghasilkan gliotoksin dan fumagillin yang aktif terhadap fungi fitopatogen (Bok et al., 2006).

Implikasi dari penelitian ini menekankan potensi keempat isolat cendawan rhizosfer, terutama *A. niger* dan *A. flavus*, sebagai agen pengendali hayati (biokontrol) untuk penyakit busuk pangkal. Namun, penerapannya di lapangan memerlukan kajian lebih lanjut. Keefektifan in vitro tidak selalu berkorelasi langsung dengan performa di rhizosfer tanaman yang lebih kompleks. Faktor-faktor seperti kemampuan kolonisasi akar, ketahanan terhadap kondisi lingkungan, dan interaksi dengan mikroorganisme lain serta tanaman inang perlu dievaluasi (Spadaro & Gullino, 2003). Terutama untuk isolat seperti *A. flavus*, yang beberapa strain-nya dapat memproduksi aflatoksin, uji keamanan (patogenesitas pada tanaman dan potensi toksisitas) mutlak diperlukan sebelum dikembangkan lebih lanjut.

Uji Sinergitas antar Cendawan Antagonis

Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa isolat cendawan *A. flavus*, *A. niger*, dan *A. fumigatus* dapat tumbuh secara koeksistensi tanpa menunjukkan tanda-tanda antagonisme, sebagaimana terlihat pada Tabel 2.2. Kemampuan ketiga spesies untuk menempati niche yang sama tanpa saling menghambat mengindikasikan terjadinya interaksi sinergistik atau netral (komensalisme) di antara mereka (Frey-Klett et al., 2011). Fenomena ini memiliki implikasi penting dalam pengembangan agen pengendalian hayati berbasis konsorsium mikroba.

Sinergi antar spesies *Aspergillus sp.* sebagai agen biokontrol dapat meningkatkan efektivitas pengendalian patogen tanaman melalui berbagai mekanisme. Beberapa spesies *Aspergillus*, seperti *A. japonicus* dan *A. niger*, mampu menghambat pertumbuhan patogen *Sclerotinia sclerotiorum* dengan mengubah konsentrasi asam oksalat pada lingkungan sekitar (O. Atallah & Yassin, 2020). Kombinasi beberapa spesies *Aspergillus* juga telah terbukti efektif dalam menghambat penyakit white mold pada tanaman kacang, dengan co-inokulasi yang meningkatkan kelulushidupan tanaman dan menekan perkembangan patogen secara signifikan (Atallah et al., 2022). Bukti empiris sinergi ini diperkuat oleh data kuantitatif pada uji kombinasi *A. flavus* x *A. niger*, yang mencapai tingkat pertumbuhan koloni sebesar 67% pada hari kelima tanpa gejala antagonisme internal. Tingkat pertumbuhan yang substansial ini menunjukkan bahwa kedua spesies tidak hanya toleran, tetapi juga mungkin mampu memanfaatkan sumber daya atau metabolit yang dihasilkan satu sama lain, sehingga mendukung pertumbuhan bersama. Mekanisme potensial di balik sinergi ini dapat berupa pemanfaatan metabolit sekunder (Bertrand et al., 2014).

Konsorsium yang terdiri dari *A. flavus*, *A. niger*, dan *A. fumigatus* menunjukkan potensi sebagai agen pengendali hayati yang efektif terhadap berbagai patogen tanaman

dengan spektrum pengendalian yang lebih luas dan tahan lama dibandingkan isolat tunggal. Studi *in vitro* menunjukkan bahwa ketiga spesies ini mampu menghambat pertumbuhan patogen seperti *F. oxysporum* dan *Colletotrichum gloeosporioides* melalui mekanisme antagonisme (Khatun et al., 2021). Selain itu, *A. flavus* dan *A. fumigatus* terbukti efektif dalam mengurangi kerusakan pada tanaman melon yang diinokulasi patogen *Fusarium*, serta meningkatkan bobot kering tanaman, menandakan peran mereka dalam stimulasi pertumbuhan tanaman (Hamdi et al., 2018). Namun, validasi lebih lanjut diperlukan untuk memastikan efektivitas dan stabilitas interaksi sinergistik konsorsium ini dalam kondisi lingkungan yang kompleks (Syed et al., 2020).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa fermentasi konsorsium mikroba mampu menghasilkan senyawa antifungal yang efektif dalam mencegah infeksi cendawan pascapanen, sehingga meningkatkan potensi pemanfaatan konsorsium tersebut dalam pengendalian penyakit tanaman (La Bella et al., 2024). Secara keseluruhan, konsorsium *Aspergillus* berpotensi sebagai alternatif pengendalian hayati yang ramah lingkungan, namun masih diperlukan pengujian lanjutan di lapangan untuk memastikan konsistensi efektivitas dan keamanan penggunaannya (Aktar & Shamsi, 2020).

Uji Daya Hambat MacBio

Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa MacBio memiliki potensi antifungi yang selektif, dengan implikasi penting untuk pengembangan strategi pengendalian penyakit tumbuhan, khususnya yang disebabkan oleh *F. oxysporum*. Pertama, ekstrak MacBio pada konsentrasi 7,5% menunjukkan efektivitas yang tinggi dalam menghambat pertumbuhan *F. oxysporum* (86%). *F. oxysporum* merupakan patogen tular tanah yang menyebabkan penyakit layu pada berbagai tanaman penting dan sulit dikendalikan (Agrios, 2005). Tingkat penghambatan yang mencapai 86% mengindikasikan bahwa ekstrak MacBio mengandung senyawa bioaktif, seperti flavonoid, alkaloid, atau saponin, yang mampu mengganggu proses fisiologis cendawan patogen, misalnya dengan merusak integritas membran sel atau menghambat sintesis ergosterol (Cowan, 1999). Ekstrak daun Biduri memiliki aktivitas antimikroba yang signifikan pada berbagai bakteri patogen. Ekstrak etanol daun biduri menunjukkan aktivitas antioksidan dan antimikroba kuat (Zulfikar et al., 2024; Kumar et al., 2025; Kar et al., 2016; Kholidiya et al., 2024).

Kedua, pola respon yang berbeda di antara berbagai jenis cendawan antagonis mengungkap selektivitas ekstrak. Sementara *Gliocladium* sp. dan *A. fumigatus* juga sangat terhambat (masing-masing 82% dan 81%), dan *A. niger* menunjukkan hambatan sedang (68%), *A. flavus* justru relatif toleran dengan tingkat penghambatan hanya 40%. Perbedaan ini kemungkinan besar disebabkan oleh variasi dalam komposisi dinding sel,

keberadaan sistem efflux, atau mekanisme detoksifikasi (Keller, 2018). Ketahanan cendawan tersebut terhadap komponen bioaktif MacBio inti dalam pembahasan.

Ketiga, toleransi yang dimiliki oleh *A. flavus* justru membuka peluang strategi pengendalian yang inovatif. *A. flavus* dikenal sebagai agen antagonis terhadap beberapa patogen tumbuhan, termasuk *F. oxysporum*, melalui kompetisi ruang dan nutrisi maupun produksi metabolit antifungal (Pal & Gardener, 2006). Fakta bahwa *A. flavus* kurang terpengaruh oleh ekstrak MacBio dibandingkan patogen target (*F. oxysporum*) mengisyaratkan potensi untuk mengombinasikan keduanya dalam suatu pendekatan terpadu. Ekstrak MacBio dapat diaplikasikan untuk menekan populasi *F. oxysporum* di dalam tanah, sementara *A. flavus* yang relatif toleran dapat diinokulasikan sebagai agen biokontrol yang tetap aktif. Dengan kata lain, ekstrak tersebut berpotensi digunakan sebagai primer suppressor terhadap patogen, sekaligus menciptakan kondisi yang selektif yang memungkinkan agen antagonis tertentu seperti *A. flavus* untuk berkembang dan memberikan efek pengendalian berkelanjutan. Strategi kombinasi antara agen hayati dan bahan alam seperti ini sedang dikembangkan untuk mengurangi ketergantungan pada fungisida sintetik dan mengatasi resistensi (Thambugala et al., 2020).

Secara keseluruhan, penelitian ini tidak hanya mengonfirmasi potensi antifungi dari ekstrak MacBio, tetapi lebih penting lagi, mengungkap sifat selektifnya. Temuan bahwa cendawan *A. flavus* menunjukkan toleransi yang lebih tinggi dibanding *F. oxysporum* merupakan dasar yang menjanjikan untuk merancang formulasi atau protokol aplikasi yang memadukan kedua komponen tersebut dalam pengendalian hayati terpadu yang lebih efektif dan ramah lingkungan.

Implikasi dan Aplikasi Lapangan

Kombinasi *A. flavus* dengan ekstrak MacBio berpotensi sebagai agen pengendalian hayati yang ramah lingkungan untuk penyakit busuk pangkal umbipada bawang merah. Mekanisme pengendalian ini melibatkan dua aspek utama: penghambatan langsung patogen oleh senyawa bioaktif dalam ekstrak MacBio dan kompetisi serta antibiosis yang dilakukan oleh cendawan antagonis *A. flavus*. Pendekatan kombinatif semacam ini telah terbukti efektif dalam mengendalikan penyakit tular tanah pada tanaman hortikultura lain, seperti yang ditunjukkan oleh berbagai studi biokontrol menggunakan cendawan antagonis dan bakteri endofitik yang mampu menekan pertumbuhan *F. oxysporum* melalui mekanisme seperti mykoparasitisme, antibiosis, dan kompetisi ruang. Selain itu, penggunaan formulasi biokontrol yang tepat dapat meningkatkan efektivitas dan stabilitas agen pengendali tersebut dalam lapangan. Studi pada tanaman lain seperti tomat juga menunjukkan bahwa ekstrak cendawan

endofitik termasuk *A. flavus* dapat menurunkan tingkat keparahan penyakit dan meningkatkan ketahanan tanaman melalui peningkatan aktivitas enzim antioksidan dan metabolit sekunder. Dengan demikian, strategi pengendalian hayati yang menggabungkan *A. flavus* dan ekstrak MacBio menawarkan solusi yang berkelanjutan dan efektif untuk mengatasi penyakit busuk pangkal pada tanaman bawang merah (Abdelaziz et al., 2022; Awal et al., 2025; Suryadi et al., 2023; Bubici et al., 2019).

2.4. Kesimpulan

Cendawan yang didapatkan dari rhizosfer bawang merah yaitu cendawan *A. niger*, *A. flavus* dan *A. fumigatus* mempunyai kemampuan antagonis terhadap cendawan penyebab penyakit busuk pangkal pada bawang merah *F. oxysporum* sesuai hasil uji antagonis secara invitro dimana cendawan *A. niger* dan *A. flavus* yang paling tinggi daya hambatnya keduanya hampir sama.

Ekstrak MacBio mempunyai kemampuan untuk menghambat perkembangan cendawan *F. oxysporum* dan cendawan antagonis *A. niger* dan *A. fumigatus* namun tidak signifikan hambatannya untuk *A. flavus* sehingga *A. flavus* dapat dipadukan/dikombinasikan dengan MacBio sebagai alat pengendali alternatif untuk mengendalikan penyakit bawang merah yang disebabkan oleh cendawan *F. oxysporum*.

DAFTAR PUSTAKA

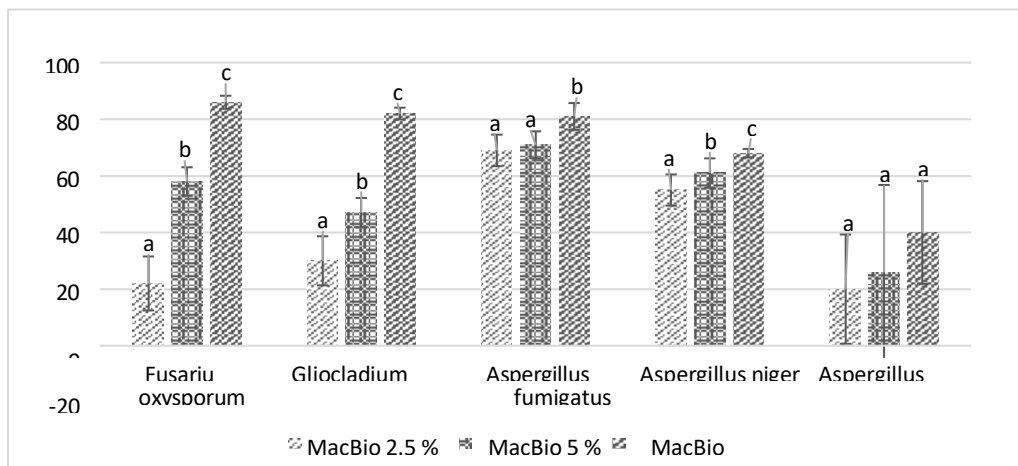
- Abdelaziz, A. M., Kalaba, M. H., Hashem, A. H., Sharaf, M. H., & Attia, M. S. (2022). Biostimulation of tomato growth and biokontrol of Basal rotdisease using certain endophytic fungi. *Botanical Studies*, 63(1), 34. <https://doi.org/10.1186/s40529-022-00364-7>
- Aktar, M., & Shamsi, S. (2020). Antagonistic potentials of selected soil fungi against three patogenic fungi of tagetes erecta L. and T. patula l. *Dhaka University Journal of Biological Sciences*, 29(2), 147–153. <https://doi.org/10.3329/dujbs.v29i2.48734>
- Atallah, O. O., Mazrou, Y. S. A., Atia, M. M., Nehela, Y., Abdelrhim, A. S., & Nader, M. M. (2022). Polyphasic characterization of four *Aspergillus* species as potential biokontrol agents for white mold disease of bean. *Journal of Fungi*, 8(6), 626. <https://doi.org/10.3390/jof8060626>
- Atallah, O., & Yassin, S. (2020). *Aspergillus* spp. eliminate *Sclerotinia sclerotiorum* by imbalancing the ambient oxalic acid concentration and parasitizing its sclerotia. *Environmental Microbiology*, 22(12), 5265–5279. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.15213>
- Awal, M. A., Prismantoro, D., Dwisandi, R. F., Chua, K., Mispan, M. S., Suhaimi, N. S. M., Safitri, R., & Doni, F. (2025). Deciphering the biokontrol strategies of *Trichoderma yunnanense* TM10 against *Fusarium oxysporum* f. sp. cepae, the causal agent of wilt disease in shallots (*Allium cepa* var. *aggregatum*). *Current Research in Microbial Sciences*, 9, 100484. <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2025.100484>
- Basuki, R. S., Khaririyatun, N., & Sembiring, A. (2017). Studi Adopsi Varietas Bawang Merah Bima Brebes dari Balitsa di Kabupaten Brebes (Adoption Study of Bima Brebes Shallot from IVEGRI in Brebes District). *J.Hort.*, 27(2), 261–268.
- Bertrand, S., Bohni, N., Schnee, S., Schumpp, O., Gindro, K., & Wolfender, J. (2014). Metabolite induction via microorganism co-culture: A potential way to enhance chemical diversity for drug discovery. *Biotechnology Advances*, 32(6), 1180–1204. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2014.03.001>
- Bok, J. W., Chung, D., Balajee, S. A., Marr, K. A., Andes, D., Nielsen, K. F., Frisvad, J. C., Kirby, K. A., & Keller, N. P. (2006). GLIZ, a transcriptional regulator of gliotoxin biosynthesis, contributes to *Aspergillus fumigatus* Virulence. *Infection and Immunity*, 74(12), 6761–6768. <https://doi.org/10.1128/iai.00780-06>
- Boughalleb-M'Hamdi, N., Salem, I. B., & M'Hamdi, M. (2018). Evaluation of the efficiency of *Trichoderma*, *Penicillium*, and *Aspergillus* species as biological kontrol agents against four soil-borne fungi of melon and watermelon. *Egyptian Journal of Biological Pest Kontrol*, 28(1). <https://doi.org/10.1186/s41938-017-0010-3>
- Bubici, G., Kaushal, M., Prigigallo, M. I., Cabanás, C. G., & Mercado-Blanco, J. (2019). Biological kontrol agents against basal rotof banana. *Frontiers in Microbiology*, 10, 616. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00616>
- Cowan, M. M. (1999). Plant products as antimicrobial agents. *Clinical Microbiology Reviews*, 12(4), 564–582. <https://doi.org/10.1128/cmr.12.4.564>
- De Lamo, F. J., & Takken, F. L. W. (2020). Biokontrol by *Fusarium oxysporum* Using Endophyte-Mediated Resistance. *Frontiers in Plant Science*, 11, 37. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00037>

- Frey-Klett, P., Burlinson, P., Deveau, A., Barret, M., Tarkka, M., & Sarniguet, A. (2011). Bacterial-Fungal Interactions: Hyphens between Agricultural, Clinical, Environmental, and Food Microbiologists. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 75(4), 583–609. <https://doi.org/10.1128/mubr.00020-11>
- Howell, C. R. (2003). Mechanisms employed by trichoderma species in the biological control of plant diseases: the history and evolution of current concepts. *Plant Disease*, 87(1), 4–10. <https://doi.org/10.1094/pdis.2003.87.1.4>
- Kar, D., Kuanar, A., & Pattanaik, P. K. (2016). Antimicrobial Activities of Different Parts of *Calotropis gigantea*: a Naturally Occurring Prophylactic Medicinal Shrub. *Iranian Journal of Science and Technology Transactions a Science*, 42(3), 1057–1062. <https://doi.org/10.1007/s40995-016-0079-7>
- Keller, N. P. (2018). Fungal secondary metabolism: regulation, function and drug discovery. *Nature Reviews Microbiology*, 17(3), 167–180. <https://doi.org/10.1038/s41579-018-0121-1>
- Khatun, A., Shamsi, S., & Bashar, A. (2021). Antagonistic potentiality of some soil fungi against six fungal pathogens isolated from cotton (*Gossypium hirsutum* L.) seeds. *Journal of the Asiatic Society of Bangladesh Science*, 46(2), 143–153. <https://doi.org/10.3329/jasbs.v46i2.54410>
- Kholidiya, W. R. N., Meilawaty, Z., & Astuti, P. (2024). Antibacterial potential of Biduri leaf extract (*Calotropis gigantea*) against the growth of *Streptococcus mutans* ATCC 35668 colonies: an experimental laboratory. *Padjadjaran Journal of Dentistry*, 36(1), 77. <https://doi.org/10.24198/pjd.vol36no1.52850>
- Kumar, P., Singh, R., & Agnihotri, S. (2025). Analysis of Comparative Antioxidant and Antimicrobial Activity of Extracts of *Calotropis gigantea*. *International Journal for Multidisciplinary Research*, 7(5). <https://doi.org/10.36948/ijfmr.2025.v07i05.58035>
- La Bella, E., Riolo, M., Luz, C., Baglieri, A., Puglisi, I., Meca, G., & Cacciola, S. O. (2024). Fermentates of consortia of lactic acid bacteria and a cyanobacterium are effective against toxigenic fungi contaminating agricultural produces. *Biological Kontrol*, 191, 105478. <https://doi.org/10.1016/j.biokontrol.2024.105478>
- Mari, M., Guizzardi, M., & Pratella, G. (1996). Biological control of gray mold in pears by antagonistic bacteria. *Biological Kontrol*, 7(1), 30–37. <https://doi.org/10.1006/bcon.1996.0060>
- Pal, K. K., & Gardener, B. M. (2006). Biological control of plant pathogens. The Plant Health Instructor. <https://doi.org/10.1094/phi-a-2006-1117-02>
- Rashad, Y. M., Abdalla, S. A., & Shehata, A. S. (2022). *Aspergillus flavus* YRB2 from *Thymelaea hirsuta* (L.) Endl., a non-aflatoxigenic endophyte with ability to overexpress defense-related genes against *Fusarium* root rot of maize. *BMC Microbiology*, 22(1), 229. <https://doi.org/10.1186/s12866-022-02651-6>
- Spadaro, D., & Gullino, M. L. (2003). State of the art and future prospects of the biological control of postharvest fruit diseases. *International Journal of Food Microbiology*, 91(2), 185–194. [https://doi.org/10.1016/s0168-1605\(03\)00380-5](https://doi.org/10.1016/s0168-1605(03)00380-5)

- Suryadi, Y., Susilowati, D., Samudra, I., Akhdiya, A., Kosasih, J., & Aminah, S. (2023). Effect of antagonistic bacteria and its formulation to kontrol basal rotdisease on shallot. *E3S Web of Conferences*, 373, 07009. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202337307009>
- Syed, S., Tollamadugu, N. P., & Lian, B. (2020). *Aspergillus* and *Fusarium* kontrol in the early stages of *Arachis hypogaea* (groundnut crop) by plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) consortium. *Microbiological Research*, 240, 126562. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126562>
- Thambugala, K. M., Daranagama, D. A., Phillips, A. J. L., Kannangara, S. D., & Promputtha, I. (2020). Fungi vs. Fungi in Biokontrol: An Overview of Fungal Antagonists Applied Against Fungal Plant Patogens. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 10, 604923. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2020.604923>
- Whipps, J. M. (2001). Microbial interactions and biokontrol in the rhizosphere. *Journal of Experimental Botany*, 52(suppl 1), 487–511. https://doi.org/10.1093/jexbot/52.suppl_1.487
- Zulfikar, T., Siregar, T. N., Rozaliyani, A., & Sutriana, A. (2024). Antimicrobial Potential of *Calotropis gigantea* Leaf Against *Klebsiella pneumoniae* in Ventilator-Associated Pneumonia. *Journal of Human Earth and Future*, 5(3), 456–470. <https://doi.org/10.28991/hef-2024-05-03-010>
- Dennis, C., & Webster, J. (1971). Antagonistic properties of species-groups of *Trichoderma*. II. Production of volatile antibiotics. Agrios, G. N. (2005). *Plant pathology*. Elsevier.
- Musdalifa, Ambar, A. A., & Putera, M. I. (2017). Pemanfaatan agen i hayati dalam mengendalikan pertumbuhan perakaran dan penyakit busuk pangkal umbicabai besar (*Capsicum annum L*) Utilization of biological agencies in kontrolling root growth and basal rotin chili (*Capsicum annumL*). *Jurnal Galung Tropika*, 6(3), 224–33.
- Jomori, T., Hara, Y., Sasaoka, M. *et al.* (2020). *Mycobacterium smegmatis* alters the production of secondary metabolites by marine-derived *Aspergillus niger*. *J Nat Med* 74, 76–82. <https://doi.org/10.1007/s11418-019-01345-0>
- Attia, M. S., El-Wakil, D. A., Hashem, A. H., & Abdelaziz, A. M. (2022). Antagonistic Effect of Plant Growth-Promoting Fungi Against Basal rotDisease in Tomato: In vitro and In vivo Study. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 194(11), 5100–5118. <https://doi.org/10.1007/s12010-022-03975-9>
- Beccari, G., Hao, G., & Liu, H. (2022). Editorial: *Fusarium* patogenesis: Infection mechanisms and disease progression in host plants. *Frontiers in Plant Science*, 13(October), 8–10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1020404>
- de Lamo, F. J., & Takken, F. L. W. (2020). Biokontrol by *Fusarium oxysporum* Using Endophyte-Mediated Resistance. *Frontiers in Plant Science*, 11(February), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00037>
- Erdiansyah, I., & Zaini, Q. (2023). Identifikasi Karakteristik Agen Hayati *Aspergillus niger* dan Uji Daya Hambat terhadap Perkembangan Penyakit Bercak Daun pada Kacang Tanah. *Agropross: National Conference Proceedings of Agriculture, 2023*, 296–306. <https://doi.org/10.25047/agropross.2023.483>

- Fatma, M., Chatri, M., Fifendy, M., & Handayani, D. (2021). Effect of Papaya Leaf Extract (*Carica papaya* L.) on Colony Diameter and Percentage of Growth Inhibition of *Fusarium oxysporum* Pengaruh Ekstrak Daun Pepaya (*Carica papaya* L.) terhadap *Fusarium oxysporum*. *Serambi Biologi*, 6(2), 9–14.
- Gangaraj, R., Kundu, A., Rana, V. S., Das, A., Chawla, G., Prakash, G., Debbarma, R., Nagaraja, A., Bainsla, N. K., Gupta, N. C., & Kamil, D. (2023). Metabolomic profiling and its association with the bio-efficacy of *Aspergillus niger* strain against Basal rot of guava. *Frontiers in Microbiology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1142144>
- Gowda, B. H., shekher, S., & Saifulla, M. (2020). Studies on Growth of *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum* Isolates causing Okra Wilt on Different Culture Media. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(9), 1419–1423. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.909.179>
- Kanwal, I., Iffat, A., Shaukat, M. B., Shafique, T., Majeed, Y., Zafar, M. I., Awan, H. M., Tabbasum, I., Iqbal, A., Tatar, M., Mortazavi, P., Ali, A., Bejaoli, R., Aslam, H., & Seenab, F. (2022). Insights into Basal rot of Tomato (*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*) and its Management Strategies Iqra. *Journal of Agriculture and Biology*, 1(2), 31–42. <https://doi.org/https://doi.org/10.55627/agribiol.002.01.0753>
31
- Kursa, W., Jamiolkowska, A., Wyrostek, J., & Kowalski, R. (2022). Antifungal Effect of Plant Extracts on the Growth of the Cereal Patogen *Fusarium* spp.—An In Vitro Study. *Agronomy*, 12(12). <https://doi.org/10.3390/agronomy12123204>.
- Mutlu-Ingok, A., Devecioglu, D., Dikmetas, D. N., Karbancioglu-Guler, F., & Capanoglu, E. (2022). Antibacterial, Antifungal, Antimycotoxigenic, and Antioxidant Activities of Essential Oils: An Updated Review. *Molecules*, 25. <https://doi.org/doi:10.3390/molecules25204711>
- Sabrini, Z., Rukmi, I., & Ferniah, R. S. (2021). Aktivitas Enzimatis Biakan Kapang *Aspergillus* Section Nigri DUC (Diponegoro University Culture Collection) Dan Identifikasi Molekuler Isolat Potensial. *Bioma : Berkala Ilmiah Biologi*, 23(1), 1–5. <https://doi.org/10.14710/bioma.23.1.1-5>
- Srivastava, S., Kadooka, C., & Uchida, J. Y. (2018). *Fusarium* species as patogen on orchids. *Microbiological Research*, 207(July 2017), 188–195. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2017.12.002>
- Wei, L., Zhang, Q., Xie, A., Xiao, Y., Guo, K., Mu, S., Xie, Y., Li, Z., & He, T. (2022). Isolation of Bioactive Compounds, Antibacterial Activity, and Action Mechanism of Spore Powder From *Aspergillus niger* xj. *Frontiers in Microbiology*, 13(July), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.934857>
- Yan, X., Guo, S., Gao, K., Sun, S., Yin, C., & Tian, Y. (2023). The Impact of the Soil Survival of the Patogen of Basal roton Soil Nutrient Cycling Mediated by Microorganisms. *Microorganisms*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/microorganisms11092207>

LAMPIRAN



Gambar 2.1. Grafik Uji Daya Hambat Konsentrasi Ekstrak MacBio

BAB III
UJI SINERGITAS EKSTRAK TANAMAN DAN CENDAWAN ANTAGONIS
DALAM MENEKAN INTENSITAS SERANGAN *S.EXIGUA* DAN PENYAKIT
PADA TANAMAN BAWANG MERAH

ABSTRAK

Latar Belakang. *S. exigua* dan *F. oxysporum* merupakan hama dan patogen penting pada tanaman bawang merah, yang dapat menyebabkan kehilangan hasil hingga 100%. Alternatif pengendalian yang dapat mengurangi serangan *S. exigua* dan *F.oxysporum* adalah formulasi MacBio, cendawan antagonis dan mulsa jerami padi. **Tujuan penelitian ini yaitu** menganalisis aplikasi kombinasi kompos, mulsa jerami padi, MacBio dan cendawan antagonis rhizosfer bawang merah dalam menekan intensitas serangan hama *S. exigua* dan *penyakit* pada tanaman bawang merah di lapangan. **Metode** penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok dengan sembilan perlakuan dan empat ulangan dan pengamatan dilakukan setiap 7 hari sejak tanaman berumur 7 hari untuk(1) Populasi Kelompok Telur *S. exigua* (2) Populasi larva *S. exigua* (3) Intensitas serangan larva *S. exigua* (4) Intensitas penyakit busuk pangkal umbi(5) Intensitas penyakit bercak ungu **Hasil** Penelitian ini menunjukkan bahwa rata-rata intensitas serangan larva *S.exigua* perlakuan P7 kompos + mulsa + MacBio 3 hari + *A. flavus* 7 hari 13,54% berbeda nyata dengan kontrol 46,31% dan tidak berbeda nyata dengan P8 perlakuan petani 12,28%. Pada rata-rata intensitas penyakit busuk pangkal pada minggu ke-7 P7 kompos + mulsa + MacBio 3 hari + *A. flavus* 7 hari 38,92% berbeda nyata dengan kontrol 62,69% dan tidak berbeda nyata dengan P8 perlakuan petani 44,33. Dan intensitas serangan bercak ungu terlihat P7 kompos + mulsa + MacBio 3 hari + *A. flavus* 7 hari 0,07%% berbeda nyata dengan kontrol 2,87% dan tidak berbeda nyata dengan P8 perlakuan petani 0,39%. **Kesimpulan** dari penelitian ini adalah ditemukan bahwa aplikasi kompos, mulsa organik jerami padi, ekstrak MacBio dan *A. flavus* mampu menekan perkembangan intensitas serangan *S. exigua*, penyakit busuk pangkal yang disebabkan oleh cendawan patogen *F. oxysporum* dan penyakit bercak ungu yang disebabkan oleh cendawan *Alternaria porri* sebagai pengendalian alternatif yang ramah lingkungan.

Kata kunci: *A. flavus*, ekstrak tanaman, *F. oxysporum*, mulsa jerami. *C.cujete*, *C.gigantea*, cendawan antagonis, rhizosfer.

3.1. Pendahuluan

S. exigua yang biasa dikenal sebagai ulat grayak bit, adalah salah satu hama utama yang menyerang beberapa tanaman dan bersifat polifag (Hussein dkk., 2023; Rabelo dkk. 2022). Hama ini menyebabkan kerugian yang signifikan dan menjadi masalah besar, karena dapat menyebabkan penurunan hasil panen bawang merah yang signifikan di Indonesia, termasuk daerah penghasil bawang merah di Sulawesi Selatan. *S. exigua* berasal dari Asia Tenggara dan telah menyebabkan kerugian ekonomi yang parah di berbagai negara dan menyebar luas di beberapa negara di Asia, Afrika, Amerika Utara, Amerika Tengah, dan Karibia, mulai dari Eropa hingga Oseania (CABI 2019).

S. exigua merupakan hama utama pada tanaman bawang merah yang menyerang sepanjang tahun, baik musim kemarau maupun musim hujan. Hama tersebut memiliki kemampuan menyebar cepat pada tanaman bawang merah di dataran rendah dan dataran tinggi. Jika tidak dikendalikan serangan hama tersebut dapat menyebabkan kegagalan panen. Moekasan et al. (2013) mengungkapkan bahwa petani bawang merah di Kecamatan Anggeraja, Kabupaten Enrekang bahwa pengendalian pada umumnya menggunakan pestisida sintetik, bahkan di wilayah tersebut, petani mencampur 8–12 macam insektisida dan mengaplikasikan dengan interval 1–2 hari untuk mengendalikan hama ulat bawang. Serangan *S. exigua* mengakibatkan penurunan produktivitas bahkan kegagalan panen karena dapat menyebabkan daun dan buah tanaman menjadi sobek, terpotong dan berlubang. Menurut Paparang et al. (2016) jika rata-rata populasi larva *S. exigua* pada tanaman sebesar 1,44 maka intensitas serangan bisa mencapai 28,07%.

Marsadi et al. (2017) mengungkapkan bahwa gejala serangan larva *S. exigua*, pada daun berupa bercak-bercak transparan akibat termakannya jaringan daun bagian dalam, sedangkan lapisan epidermis luar ditinggalkan. Serangan berat mengakibatkan daun mengering dan gugur sebelum waktunya sehingga kualitas dan kuantitas hasil tanaman menurun, serangannya menyebabkan kehilangan hasil sampai 80 - 100% jika tidak dilakukan upaya pengendalian.

Larva *S. exigua* menyebabkan kerusakan dengan memakan jaringan tanaman dari dalam, meninggalkan lapisan epidermis yang tampak seperti bintik-bintik transparan. Investasi parah hama ini dapat menyebabkan kehilangan hasil hingga 100% jika tidak ada pengendalian (Capinera, 2017; Marsadi, D., dkk., 2017). Di Amerika Serikat, resistensi ulat grayak bit terhadap insektisida klorantraniliprol dan bifentrin pertama kali dilaporkan pada tahun 2020 (Rabelo dkk., 2022). Selain resistensi, penggunaan insektisida juga dapat merugikan petani karena dapat menyebabkan keracunan hingga mengganggu ekosistem atau mencemari lingkungan, meninggalkan residu pada

tanaman maupun bahan olahan, dan dapat menyebabkan kematian pada manusia (Dhiaswari, 2019; Kishi dkk., 1995). Salah satu alternatif untuk mengurangi dampak insektisida sintetis adalah dengan menggunakan produk tumbuhan alami berupa ekstrak tumbuhan yang dapat terurai secara hayati sehingga tidak mencemari lingkungan dan relatif aman bagi manusia dan lingkungan. Produk tumbuhan alami dalam ekstrak tumbuhan dapat bertindak sebagai penolak, racun, dan ovisidal terhadap hama serangga, mencegah aktivitas makan dan menghambat pertumbuhan serta perkembangan. Produk tumbuhan alami yang berpotensi dikembangkan sebagai pestisida alami adalah *C.gigantea* dan *C. cujete* (Sjam dkk. 2023). Ekstrak tumbuhan sebagai pestisida alami dibuat dalam formulasi yang mengandung *C. cujete* dan *C.gigantea* dan dikombinasikan dengan mulsa jerami untuk mengendalikan hama *S.exigua* pada tanaman bawang merah.

C. cujete mengandung senyawa metabolit sekunder seperti saponin, flavonoid, dan tanin (Apriality dkk., 2021). Senyawa aktif dalam buah maja berperan dalam menyebabkan kematian larva. *C. gigantea* mengandung senyawa metabolit sekunder yaitu fenol, flavonoid, alkaloid, tanin, saponin, glikosida, fitosterol, dan kardenolida yang dapat menekan populasi beberapa hama pada tanaman padi dan efektif mengendalikan populasi dan intensitas serangan hama *Scirpophaga innotata* dan *Leptocorisa acuta* (Palayukan dkk., 2021), serta mempengaruhi aktivitas makan dan mortalitas larva *S.exigua* (Shahabuddin, 2002). Aplikasi campuran ekstrak *C. gigantea* dan *C.cujete* dengan frekuensi aplikasi setiap 10 hari menunjukkan populasi serangga hama *S.frugiperda* yang rendah pada jagung (Syamsir, 2022). Selain menggunakan produk tanaman alami berupa ekstrak tanaman, mulsa dapat digunakan untuk mengurangi populasi serangga *S. exigua* (Pasigai dan Paiman 2023; Rezki dkk. 2025).

Mulsa organik dari jerami padi dan aplikasi ekstrak tumbuhan sebagai insektisida alami diharapkan dapat mengurangi populasi *S.exigua*. Penggunaan mulsa jerami dapat mengurangi populasi hama karena dapat menjadi konservasi musuh alami. Lagipula, mulsa jerami padi dapat menyebabkan peningkatan kelimpahan artropoda predator hama serangga pada tanaman bawang merah, terutama artropoda predator kelompok laba-laba dan semut (Nasir, 2020). Hasil penelitian Rahim (2019) menunjukkan bahwa penggunaan mulsa jerami padi dapat menurunkan intensitas serangan hama *S. exigua* sebesar 20,83%.

Penyakit busuk pangkal merupakan penyakit penting pada bawang merah yang disebabkan oleh *F. oxysporum*, yaitu sejenis cendawan tular tanah dan pada umumnya bersifat sistemik sehingga sulit dikendalikan dengan fungisida, mengakibatkan terjadinya

penurunan produksi (Juwanda et al., 2016). *F. oxysporum* menginfeksi tanaman bawang merah pada berbagai tingkatan pertumbuhan. Kerugian akibat cendawan ini mengakibatkan kehilangan hasil sampai 50%, di Bantul dan Nganjuk sebesar 13,75 – 30% (Adhi & Suganda, 2020). Jika menyerang di pesemaian kerusakan bisa mencapai 100% di Enrekang (Abdul et al., 2019).

Benih dan bibit bawang merah merupakan sumber inokulum untuk *F. oxysporum* yang menyebabkan kerugian di berbagai fase perkembangan, mulai dari pembibitan hingga penyimpanan pascapanen (Southwood dkk., 2015). Tingkat keparahan penyakit ini dipertegas dengan kerusakan hampir 100% pada benih tiga varietas bawang merah yang bersumber dari pusat penanaman bawang merah di Brebes (Wiyono dkk., 2022). Studi kami menunjukkan bahwa gejala penyakit busuk pangkal pada bawang merah kontrol muncul satu minggu setelah tanam, membuktikan bahwa patogen tersebut ditularkan melalui benih. Situasi ini mengharuskan penerapan tindakan pencegahan untuk mengurangi dampak patogen.

Kelembaban tanah yang tinggi mendorong berkembangnya penyakit ini, kemudian menyebar di penyimpanan akibat terbawa umbi, dan menjadi sumber penyakit pada pertanaman berikutnya (Hasanuddin, 2013). Gejala awal penyakit busuk pangkal, daun terbawah menguning pada ujung dan tepi daun (Juwanda et al., 2016). Bayu (2014), menyatakan bahwa gejala yang tampak pada daun berupa melintir, menguning, dan akar agak rapuh sehingga tanaman mudah dicabut. Penyakit busuk pangkal ditandai dengan tanaman menjadi cepat layu, akar menjadi busuk, tanaman terkulai seperti akan roboh, dan di dasar umbi lapis terlihat koloni cendawan berwarna putih.

Petani sering menggunakan fungisida seperti mancozeb, karbendazim, kombinasi karbendazim dan Mancozeb, serta sulfur yang dapat dibasahi untuk mengendalikan penyakit bawang merah. Frekuensi aplikasi berkisar antara enam hingga sembilan semprotan. Namun, aplikasi fungisida yang berulang dapat memicu resistensi patogen dan kerusakan lingkungan (Wu dkk., 2023). Pengendalian hayati dengan menggunakan mikroorganisme antagonis semakin meningkat. *T. asperellum* menembus akar tanaman dan menyebar ke daun (Ratnawati dkk. 2020; Ismail dkk., 2020). Selain *Trichoderma*, mikroorganisme lain seperti *Fusarium*, *Bacillus*, dan *Pseudomonas* juga digunakan dalam pengendalian penyakit bawang merah (Edy dkk., 2023; Wiyono dkk., 2022). Meskipun berpotensi bermanfaat, penggunaan *Aspergillus* pada komoditas ini masih kurang dieksplorasi. Diketahui spesies *Aspergillus* seperti *A. japonicus*, *A. niger*, *A. flavus*, *A. terreus*, dan *A. pseudoelegans* menunjukkan efikasi dalam menekan penyakit busuk pangkal dan bercak daun alternaria (Atallah dkk. 2022; Choi, 2022; Daigham dkk., 2023).

Aspergillus diketahui dapat melakukan penekanan terhadap berbagai bakteri dan nematoda (Choi dan Ahsan 2022; Jang et al. 2016; Jin et al. 2019).

Salah satu upaya untuk menekan perkembangan penyakit tular tanah adalah dengan pemanfaatan kompos. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan kompos ke dalam tanah dapat meningkatkan sifat biologis tanah, mendukung perkembangan biomassa dan aktivitas metabolisme mikroba, serta memperkaya keragaman dan kekayaan komunitas mikroba (Garcia dkk., 2000; Hartmann dkk., 2015). Diketahui kompos dapat mendorong respons resistensi sistemik (ISR) pada tanaman (Jaiswal dkk. 2017; Liu dkk. 2018; Vallad dkk., 2003). Kompos merupakan media yang efektif untuk *Trichoderma*, (Joos dkk., 2020; Ratnawati dkk., 2020; Ismail dkk., 2020). Integrasi kompos dan *Trichoderma* diketahui dapat mengurangi investasi pada *F.oxysporum* (Mondéjar dkk., 2010; Ismail dkk., 2020). Selain itu, *A. flavus* juga berperan penting dalam pengendalian penyakit ketika ditambahkan ke dalam kompos, meskipun dalam tingkat yang lebih rendah dibandingkan dengan *Trichoderma*.

Penelitian telah menunjukkan bahwa beberapa spesies cendawan, diantaranya seperti *A. niger*, *A. flavus*, dan *A. terreus*, yang telah diisolasi dari kompos, menunjukkan pengendalian yang efektif terhadap *Fusarium sambucinum*, patogen busuk kering fusarium pada kentang (Abdallah dkk., 2023). Temuan ini mengungkap fungsi ganda kompos, yang tidak hanya berfungsi sebagai substrat yang kaya nutrisi tetapi juga sebagai media pendukung bagi perkembangbiakan dan efikasi spesies *Trichoderma* dan *Aspergillus* terhadap patogen yang menyerang bawang merah.

F. oxysporum adalah organisme pengganggu tanaman yang menjadi kendala atau masalah utama dalam budidaya bawang merah, dan dapat menurunkan langsung produksi tanaman, baik secara kualitas dan kuantitas. Masalah yang dialami petani tersebut diatasi dengan penyemprotan pestisida berbahan kimia sintetik. Pemanfaatan bahan kimia tersebut digunakan secara intensif, sehinggakan menimbulkan berbagai dampak negatif yang cukup banyak, diantaranya menciptakan hama baru, terjadinya resistensi hama dan patogen, banyaknya residu pada produk dan tercemarinya lingkungan, termasuk tanah dan air. Banyaknya dampak yang timbul maka diusahakan mencari alternatif pengendalian yang ramah lingkungan yang bersumberdaya lokal, sehingga mempermudah petani dalam mempersiapkan bahan bakunya. Salah satu upaya yang dilakukan adalah mengkaji potensi cendawan antagonis yang berada di daerah rhizosfer tanaman bawang merah dipadukan dengan media kompos, mulsa jerami dan pestisida nabati.

Pestisida nabati adalah pestisida yang dibuat dari tumbuh-tumbuhan yang residunya mudah terurai di alam. Beberapa tumbuhan telah diketahui memiliki kandungan zat-zat kimia dalam bentuk senyawa sekunder yang berperan penting dalam proses berinteraksi atau berkompetisi, termasuk melindungi diri dari gangguan kompetitornya (Saenong, 2017). Produk metabolit sekunder tersebut dapat dimanfaatkan sebagai bahan aktif pestisida nabati (Dubey et al., 2008). Ini menjadi petunjuk bahwa pestisida nabati punya potensi untuk dijadikan bahan pengendalian penyakit tanaman yang ramah lingkungan. Arannilewa et al. (2006) menyatakan bahwa metabolit sekunder yang sudah teridentifikasi pada tumbuhan ada sekitar 10 ribu jenis, yang mempunyai potensi sebagai pestisida nabati ada sekitar 400 ribu jenis. Di Indonesia, jenis tumbuhan penghasil pestisida nabati tersebar dalam 235 famili dengan 2.400 jenis tanaman (Kardinan, 2011). Tanaman yang digunakan sebagai pestisida nabati adalah tanaman maja dan biduri.

Buah maja adalah tanaman yang kurang dipedulikan dengan masyarakat, sedangkan buah maja ini memiliki kandungan senyawa metabolit sekunder yaitu senyawa tanin dan saponin yang tidak disukai oleh hama tanaman. Beberapa peneliti telah mencoba buah maja sebagai pengendalia hama. Berliana & Nugroho (2013), menggunakan ekstrak buah maja dalam menekan penyakit cendawan akar putih pada tanaman karet. Dari hasil penelitian pendaluan uji antagonis beberapa cendawan antagonis terhadap *F. oxysporum* secara Invitro menunjukkan bahwa cendawan antagonis mampu menghambat pertumbuhan cendawan *F. oxysporum* dengan menekan penyebaran miselium. Perlakuan dengan *A. flavus* terhadap *F. oxysporum* menunjukkan perlakuan yang paling baik dalam menekan pertumbuhan cendawan *F. oxysporum* terlihat pada data hasil pengamatan hari ke-3 dimana sudah mencapai 50% berbeda nyata dengan perlakuan yang lain. Dan pengujian uji daya hambat konsentrasi ekstrak MacBio, ditemukan bahwa MacBio mampu menghambat pertumbuhan *F. oxysporum* secara Invitro dimana konsentrasi 5% mencapai 58% dan konsentrasi 7,5% mencapai 86%. Hal ini menjadi petunjuk perlunya dilakukan percobaan untuk menguji pemanfaatan cendawan rhizosfer antagonis (*A. flavus*), kompos, mulsa jerami dan pestisida nabati buah maja dan tanaman biduri dalam mengendalikan serangan penyakit busuk pangkalpada tanaman bawang merah.

S. exigua adalah organisme pengganggu tanaman yang menjadi kendala atau masalah utama dalam budidaya bawang merah, dan dapat menurunkan langsung produksi tanaman, baik secara kualitas dan kuantitas. Masalah yang dialami petani tersebut diatasi dengan penyemprotan pestisida berbahan kimia sintetik. Pemanfaatan

bahan kimia tersebut digunakan secara intensif, sehinggalah menimbulkan berbagai dampak negatif yang cukup banyak, diantaranya menciptakan hama baru, terjadinya resistensi hama dan patogen, banyaknya residu pada produk dan tercemarnya lingkungan, termasuk tanah dan air. Banyaknya dampak yang timbul maka diusahakan mencari alternatif pengendalian yang ramah lingkungan yang bersumberdaya lokal, sehingga mempermudah petani dalam mempersiapkan bahan bakunya. Salah satu upaya yang dilakukan adalah mengkaji potensi cendawan antagonis yang berada di daerah rhizosfer tanaman bawang merah dan tanaman maja sebagai pestisida nabati yang berkhasiat baik dalam mengendalikan hama *S. exigua*. Beberapa penelitian terdahulu mengungkapkan bahwa di daerah perakaran terdapat banyak cendawan antagonis terhadap *F. oxysporum*, tidak menutup kemungkinan antagonis dari rhizosfer bisa memproduksi metabolik sekunder yang akan berdampak pada hama. Selain itu pemanfaatan ekstrak tanaman dapat membantu penekanan populasi hama, seperti ekstrak tanaman buah maja dan biduri. Beberapa penelitian telah memanfaatkan ekstrak tersebut dalam skala laboratorium, dengan hasil yang cukup lumayan baik. Hal ini menjadi petunjuk adanya potensi digunakannya ekstrak tersebut dalam menekan populasi hama *S. exigua*. Dari informasi penelitian yang ada dan permasalahan dalam budidaya tanaman bawang merah yang memberikan dampak negatif pada lingkungan maka dilakukan penelitian untuk mengkaji mikroorganismenya yang ada di daerah rhizosfer tanaman bawang yang disinergikan dengan ekstrak tanaman, kompos dan mulsa organik jerami padi untuk mengendalikan *S. exigua* dan penyakit bawang merah.

3.2. Metode Penelitian

3.2.1 Bahan

Pada penelitian ini menggunakan cendawan antagonis terbaik dari hasil uji sebelumnya (*uji invitro*) dan MacBio yang diambil dari Laboratorium Hama dan Penyakit Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin. Bibit tanaman yang digunakan dalam penelitian ini adalah bibit bawang merah lokal yang sudah berumur lebih dari 2 bulan setelah panen jenis varietas Super Philips yang ditanam dengan jarak tanam 20 x 20 cm dimana satu petak perlakuan terdiri dari 3 bedengan ukuran 120 cm x 300 cm dengan jumlah tanaman $6 \times 15 = 90$ tanaman dan satu petak perlakuan 3 bedengan x 90 tanaman = 270 tanaman. Sehingga jumlah populasi tanaman dalam penelitian ini adalah 9 perlakuan x 4 ulangan = 36 petak perlakuan, maka 36 petak perlakuan x 270 tanaman/petak = 9.720 tanaman.

Lahan yang digunakan adalah lahan petani bawang merah di Desa Pekalobean Kecamatan Anggeraja Kabupaten Enrekang Provinsi Sulawesi Selatan yang berada di ketinggian 800 mdpl dengan menggunakan irigasi springler.

Kompos yang digunakan di penelitian ini adalah kompos yang dibuat dari campuran kohe kambing : jerami jagung : rumput minjangan (*chromolaena odorata*) : batang pisang dimana semua bahan dihaluskan dan dicampur dengan perbandingan 1:1:1:1 dan ditambahkan air secukupnya kemudian di aduk hingga tercampur rata di tutup terpal selama 45 hari dibu dan dibalik balik setiap 3 hari meningkatkan aerasi dan aktivitas mikroba dekomposer. Setelah selesai kompos yang sudah jadi disimpan di gudang selama 1 bulan sebelum digunakan.

Mulsa yang digunakan pada pelatihan ini ada mulsa jerami padi yang diambil dari jerami padi yang sementara panen padi di daerah kecamatan maiwa kemudian jerami ini disimpan di tempat teduh selama 1 bulan supaya jeraminya betul betul sudah kering.

3.2.2 Pelaksanaan

Penelitian ini terdapat 9 perlakuan dengan 4 ulangan dengan perlakuan sebagai berikut :

P0 : Kontrol

P1 : *A. flavus*

P2 : Kompos + *A. flavus*

P3 : Kompos + Mulsa + *A. flavus*

P4 : Kompos + Mulsa + MacBio7

P5 : Kompos + Mulsa + MacBio7 + *A. flavus*

P6 : Kompos + Mulsa + MacBio3

P7 : Kompos + Mulsa + MacBio3 + *A. flavus*

P8 : Perlakuan Petani

Kontrol tanpa perlakuan, cendawan *A. flavus* 5 gram bubuk/1 Kg kompos, satu bedengan membutuhkan 7 Kg kompos sehingga 1 bedengan diaplikasi 35 gram *A. flavus* sehingga dalam satu petak perlakuan membutuhkan 21 Kg kompos dan 105 gram cendawan *A. flavus*. Kompos dan *A. flavus* dicampur rata dan dihampar merata diatas bedengan dibolak balik hingga tercampur rata dengan tanah permukaan, kemudian ditutupi dengan jerami padi merata sampai semua bagian bedengan tertutup pada saat sebelum tanam. Sedangkan untuk perlakuan *A. flavus* saja hanya penyemprotan cendawan *A. flavus* secara merata di atas permukaan tanah sebelum tanam, sedangkan *A. flavus* 7 dimana selain perlakuan sebelum tanam juga dilakukan perlakuan ulangan setiap 7 hari dengan cara menyemprotkan larutan cendawan *A. flavus* (105 gram bubuk dengan 1500 ml air untuk satu petak) ke seluruh permukaan tanaman dan tanah

bedengan.

Pengaplikasian MacBio dilakukan dengan menyemprotkan larutan MacBio secara merata pada permukaan tanaman dan bedengan setelah tanaman berumur 6 hari kemudian diulang setiap 3 hari untuk perlakuan MacBio3 dan 7 hari untuk perlakuan MacBio7 dengan konsentrasi 5% atau 50 ml per liter air.

3.2.3 Pengamatan

3.2.3.1 Populasi larva *S. exigua*

Setiap plot, terdapat 210 rumpun tanaman, dan sampel yang diambil adalah 10% dari total populasi tanaman. Sampel tanaman yang diamati pada setiap plot berjumlah 21 rumpun yang diambil secara diagonal. Pengamatan populasi kelompok telur, larva dan intensitas serangan dilakukan pada pagi hari. Pengamatan populasi dan intensitas serangan *S. exigua* dilakukan sebanyak 7 kali mulai 1-7 minggu setelah tanam (MST)

Pengamatan populasi *S. exigua* dilakukan secara visual (langsung) pada 21 sampel bergerak dengan menghitung jumlah kelompok telur dan larva pada setiap tanaman sampel. Pengamatan populasi larva dilakukan dengan membelah daun bawang yang bergejala. Untuk menghitung rata-rata kelompok telur dan populasi larva, rumus dari Paparant et al., (2016) digunakan sebagai berikut:

$$\text{Larval population level } P = \frac{n}{N}$$

Keterangan:

P = Populasi Hama

n = Jumlah telur/larva yang ditemukan pada semua tanaman

N = Jumlah tanaman yang diamati

3.2.3.2 Intensitas Serangan *S. exigua*

Intensitas serangan *S. exigua* diamati pada sembilan sampel tanaman tetap yang diambil secara diagonal. Pengamatan dilakukan dengan menghitung langsung skor kerusakan pada setiap daun pada sampel tanaman. Rumus untuk menghitung intensitas serangan menurut (Hanafiah, 2010) adalah sebagai berikut:

$$\text{Tingkat intensitas serangan } I = \frac{\sum(n_i.v_i)}{N.Z} \times 100\%$$

Keterangan:

I = intensitas serangan (%)

ni = Jumlah daun yang terserang pada skala serangan tertentu

vi = Nilai skala untuk setiap kategori serangan

Z = Skala kategori serangan tertinggi

N = Jumlah daun yang diamati

Penilaian gejala serangan hama mengacu pada Moekasan dkk., (2005) sebagai berikut:

- 1 = tidak ada gejala serangan
- 2 = gejala serangan 1-20%
- 3 = gejala serangan 21-40%
- 4 = gejala serangan 41-60%
- 5 = gejala serangan 61-80%
- 6 = gejala serangan 81-100%

3.2.3.3 Intensitas Serangan Penyakit

Pengamatan intensitas penyakit busuk pangkalyang disebabkan oleh dan penyakit lain yang ditemukan dilapangan (jika ada) dilakukan dengan menilai 9 tanaman per bedengan atau $9 \times 3 = 27$ tanaman per petak, yang merupakan sepuluh persen dari total populasi tanaman di setiap petak. Penilaian ini dilakukan satu minggu sekali dimulai saat tanaman berumur 7 hst, berlanjut hingga 49 hari pasca tanam (7 kali pengamatan).

Parameter yang diamati dalam penelitian ini adalah tingkat intensitas serangan. Tingkat intensitas penyakit dihitung menggunakan rumus:

$$IP = (n_0 \times 0 + n_1 \times 1 + n_2 \times 2 + n_3 \times 3 + n_4 \times 4 + n_5 \times 5) / (N \times Z)$$

Keterangan :

- IP = intensitas serangan,
- $n_1 - n_5$ = jumlah daun yang terinfeksi pada setiap skor,
- N = total daun yang diamati, dan
- Z = skor tertinggi yang ditemukan.

Skor intensitas serangan ditentukan berdasarkan klasifikasi gejala menurut Cahyaningrum et.al, (2017), yakni sebagai berikut :

- 0 = (tanpa gejala),
- 1 = ($\leq 20\%$ luas daun menguning),
- 2 = (21–40% luas daun menguning),
- 3 = (41–60% luas daun menguning),
- 4 = (61–80% luas daun menguning), dan
- 5 = ($> 80\%$ luas daun menguning)

3.2.4 Analisis Statistik

Hasil pengamatan dianalisis menggunakan metode ANOVA. Jika perlakuan memengaruhi hasil analisis, dilakukan uji lanjutan menggunakan uji Beda Nyata Terkecil (BNT) dengan taraf 5%.

3.3. Hasil dan Pembahasan

3.3.1 Hasil

3.3.1.1 Pengaruh Perlakuan Kombinasi (Kompos + Mulsa Jerami + Macbio + Cendawan Antagonis) Terhadap Jumlah Kelompok Telur Hama *S. Exigua*.

Hasil pengamatan rata-rata kelompok telur *S. exigua* menunjukkan bahwa setiap perlakuan pengaplikasian kompos, mulsa, dan frekuensi aplikasi MacBio yang dikombinasikan serta perlakuan petani menunjukkan hasil analisis statistik bahwa perlakuan kompos dan MacBio memberikan pengaruh yang berbeda nyata pada kontrol dan pengaplikasikan cendawan antagonis baik pada pengamatan ke- 1 dan ke- 2. Hal tersebut disajikan pada tabel 3.1.

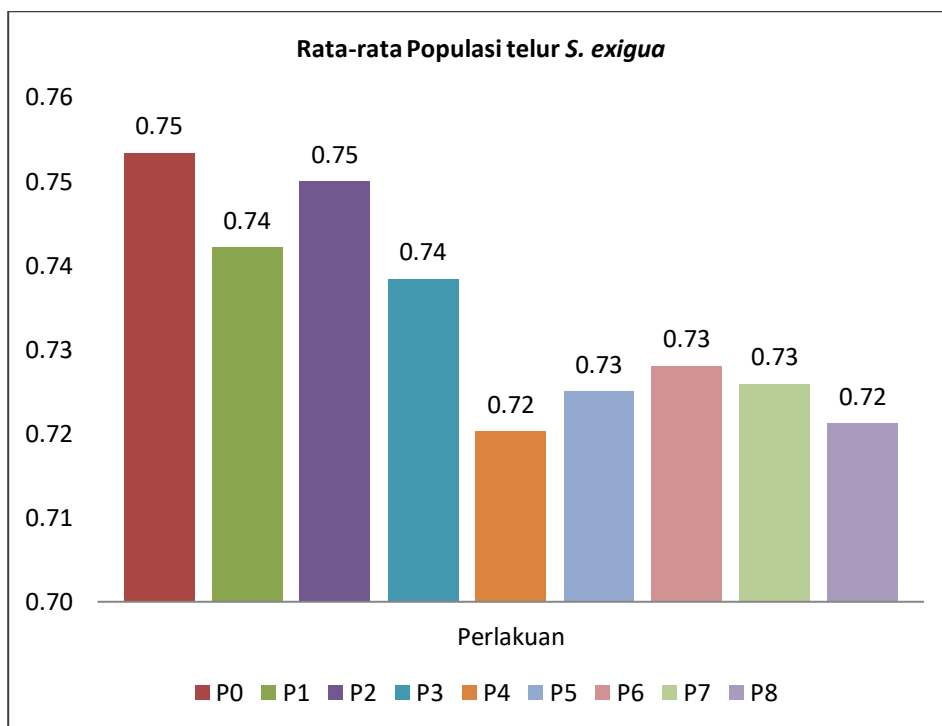
Tabel 3.1. Rata-Rata Kelompok Telur *S. exigua* pada Perlakuan Kombinasi (Kompos + Mulsa Jerami + Macbio + Cendawan Antagonis)

Perlakuan	Pengamatan ke- (MST)						
	1	2	3	4	5	6	7
P0	0,82 ^a	0,74 ^b	0,73 ^a	0,73 ^a	0,74 ^a	0,76 ^a	0,76 ^a
P1	0,84 ^a	0,73 ^b	0,71 ^a	0,72 ^a	0,72 ^a	0,74 ^a	0,73 ^a
P2	0,85 ^a	0,78 ^a	0,71 ^a	0,71 ^a	0,73 ^a	0,73 ^a	0,73 ^a
P3	0,71 ^b	0,74 ^b	0,74 ^a	0,74 ^a	0,71 ^a	0,76 ^a	0,76 ^a
P4	0,73 ^b	0,76 ^a	0,71 ^a	0,71 ^a	0,72 ^a	0,71 ^a	0,71 ^a
P5	0,74 ^b	0,72 ^b	0,72 ^a	0,71 ^a	0,74 ^a	0,72 ^a	0,71 ^a
P6	0,73 ^b	0,74 ^b	0,72 ^a	0,71 ^a	0,73 ^a	0,73 ^a	0,75 ^a
P7	0,74 ^b	0,74 ^b	0,71 ^a	0,71 ^a	0,73 ^a	0,73 ^a	0,72 ^a
P8	0,73 ^b	0,71 ^b	0,71 ^a	0,71 ^a	0,77 ^a	0,72 ^a	0,71 ^a
NP BNT	0,06	0,04	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05

Keterangan : Angka yang diikuti dengan huruf yang sama pada baris kolom tidak berbeda nyata pada uji lanjut BNT taraf kepercayaan 5%. P0 = Kontrol; P1=A. *flavus*; P2 = Kompos + A. *flavus*; P3 = Kompos + Mulsa + A. *flavus*; P4 =Kompos + Mulsa + MacBio7; P5 = Kompos + Mulsa + MacBio7 + A. *flavus*; P6 = Kompos + Mulsa + MacBio3; P7 = Kompos + Mulsa + MacBio3 + A. *flavus*; (P8) Perlakuan Petani.

Tabel 3.1. menunjukkan bahwa secara statistik rata-rata populasi kelompok telur *S. exigua* terhadap berbagai perlakuan yang diberikan menunjukkan perbedaan yang nyata antara kontrol dan semua perlakuan yang dikombinasikan antara kompos dan MacBio pada frekuensi per 3 hari dan per 7 hari pada pengamatan ke-1 dan ke-2 MST.

Namun pada perlakuan antagonis dan kombinasi antara kompos dan antagonis menunjukkan pengaruh yang tidak berbeda nyata pada perlakuan P3 sampai P8 pada pengamatan 1 MST. Sedangkan pada pengamatan 2 MST menunjukkan perbedaan yang nyata antara P2 dengan P1, P3, P5, P6, P7, perlakuan petani dan kontrol. Namun tidak berbeda nyata dengan perlakuan P4 yaitu dengan penggunaan MacBio. Adapun pada pengamatan ke- 3 sampai ke-7 MST tidak menunjukkan perbedaan yang nyata antar perlakuan.



Gambar 3.1. Total Rata-Rata Populasi Telur *S. Exigua*. Keterangan : P0 = Kontrol; P1=*A. flavus*; P2 = Kompos + *A. flavus*; P3 = Kompos + Mulsa + *A. flavus*; P4 =Kompos + Mulsa + MacBio7; P5 = Kompos + Mulsa + MacBio7 + *A. flavus*; P6 = Kompos + Mulsa + MacBio3; P7 = Kompos + Mulsa + MacBio3 + *A. flavus*; P8 = Perlakuan Petani.

Gambar 3.1. menunjukkan bahwa rata-rata populasi kelompok telur *S exigua* yang ditemukan pada pengamatan ke-1 sampai ke-7 MST dengan tingkat populasi tertinggi terdapat pada perlakuan kontrol yang secara statistik menunjukkan perbedaan yang nyata. Sedangkan populasi kelompok telur terendah terdapat pada perlakuan P4 yakni pengaplikasian MacBio dengan penggunaan kompos dan mulsa tetapi secara statistik tidak memberikan perbedaan yang nyata pada P5, P6, P7, dan perlakuan petani.



Gambar 3.2. Kelompok Telur *S. exigua* yang Sudah Menetas

3.3.1.2 Pengaruh Perlakuan Kombinasi (Kompos + Mulsa Jerami + Macbio + Cendawan Antagonis) Terhadap Jumlah Kelompok Telur Hama *S. exigua*.

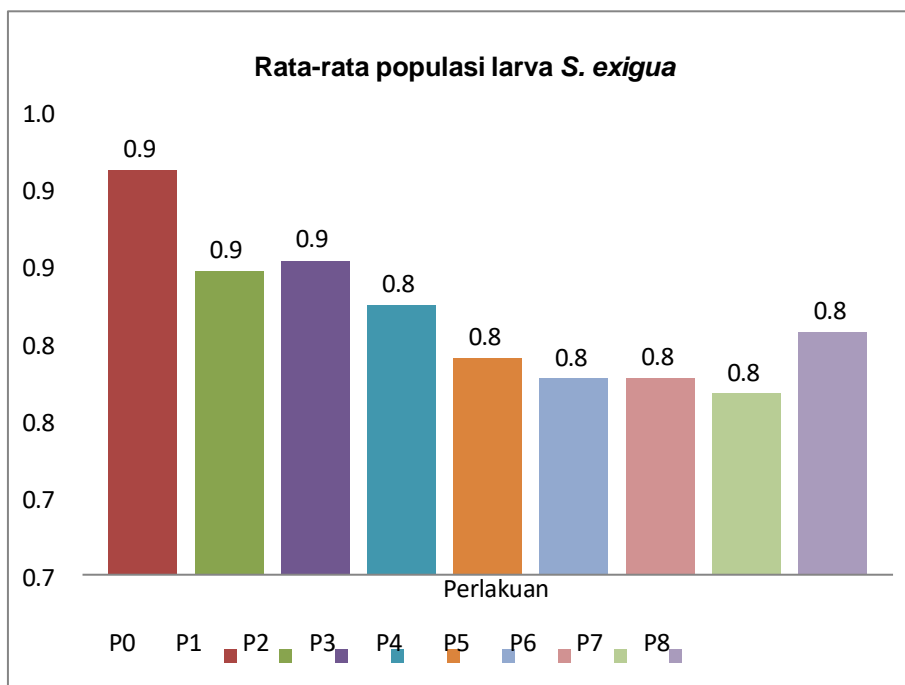
Hasil pengamatan rata-rata kelompok larva *S. exigua* menunjukkan bahwa secara statistik setiap perlakuan pengaplikasian cendawan antagonis, dan frekuensi aplikasi MacBio dengan penggunaan kompos dan mulsa yang dikombinasikan pada pengamatan 1 sampai 7 MST memberikan pengaruh yang tidak nyata pada semua perlakuan dan perlakuan petani dan kontrol. Hal tersebut disajikan pada tabel 3.2.

Tabel 3.2. Rata-rata Populasi Larva *S. exigua* pada Perlakuan Kombinasi (Kompos + Mulsa Jerami + Macbio + Cendawan Antagonis)

Perlakuan	Pengamatan ke- (MST)						
	1	2	3	4	5	6	7
P0	0,71 ^a	1,10 ^a	1,13 ^a	0,89 ^a	0,95 ^a	1,00 ^a	0,96 ^a
P1	0,71 ^a	0,88 ^a	1,02 ^a	0,91 ^a	0,96 ^a	0,91 ^a	0,90 ^a
P2	0,71 ^a	0,84 ^a	0,88 ^a	0,99 ^a	0,93 ^a	0,97 ^a	1,00 ^a
P3	0,71 ^a	0,85 ^a	0,92 ^a	0,89 ^a	0,92 ^a	0,93 ^a	0,91 ^a
P4	0,71 ^a	0,85 ^a	0,88 ^a	0,83 ^a	0,92 ^a	0,87 ^a	0,82 ^a
P5	0,71 ^a	0,77 ^a	0,90 ^a	0,81 ^a	1,02 ^a	0,78 ^a	0,80 ^a
P6	0,71 ^a	0,84 ^a	0,88 ^a	0,81 ^a	0,88 ^a	0,83 ^a	0,84 ^a
P7	0,71 ^a	0,80 ^a	0,83 ^a	0,85 ^a	0,97 ^a	0,78 ^a	0,79 ^a
P8	0,73 ^a	0,74 ^a	0,86 ^a	0,88 ^a	0,95 ^a	0,90 ^a	0,93 ^a
NP BNT	0,02	0,24	0,19	0,22	0,24	0,18	0,17

Keterangan : Angka yang diikuti dengan huruf yang sama pada baris kolom (a,b) tidak berbeda nyata pada uji lanjut BNT taraf kepercayaan 5%. P0 = Kontrol; P1=*A. flavus*; P2 = Kompos + *A. flavus*; P3 = Kompos + Mulsa + *A. flavus*; P4 =Kompos + Mulsa + MacBio7; P5 = Kompos + Mulsa + MacBio7 + *A. flavus*; P6 = Kompos + Mulsa + MacBio3; P7 = Kompos + Mulsa + MacBio3 + *A. flavus*; P8 = Perlakuan Petani.

Tabel 3.2. menunjukkan bahwa secara statistik rata-rata populasi larva *S. exigua* terhadap berbagai perlakuan yang diberikan yakni pengaplikasian cendawan antagonis dan MacBio dengan frekuensi per 3 dan 7 hari menunjukkan perbedaan yang tidak nyata pada semua perlakuan termasuk kontrol dan perlakuan petani mulai dari pengamatan ke-1 sampai ke-7 MST. Namun secara total dari rata-rata populasi larva *S. exigua* menunjukkan perlakuan MacBio pada kedua frekuensi pengaplikasian yang dikombinasikan dengan cendawan *A. flavus* maupun perlakuan tunggal menunjukkan perbedaan yang nyata dengan perlakuan cendawan *A. flavus* secara tunggal dan kontrol (Gambar 3.3).



Gambar 3.3. Total Populasi Larva *S. exigua*. Keterangan : P0 = Kontrol; P1=*A. flavus*; P2 = Kompos + *A. flavus*; P3 = Kompos + Mulsa + *A. flavus*; P4 =Kompos + Mulsa + MacBio7; P5 = Kompos + Mulsa + MacBio7 + *A. flavus*; P6 = Kompos + Mulsa + MacBio3; P7 = Kompos + Mulsa + MacBio3 + *A. flavus*; (P8) Perlakuan Petani.

Gambar 3.3 menunjukkan bahwa rata-rata populasi larva *S. exigua* yang ditemukan pada pengamatan ke-1 sampai ke-7 MST dengan tingkat populasi tertinggi terdapat pada perlakuan kontrol yang secara statistik menunjukkan perbedaan yang nyata. Sedangkan populasi terendah terdapat pada perlakuan P7 yaitu kombinasi MacBio dan cendawan *A. flavus* tetapi secara statistik tidak memberikan perbedaan yang nyata pada P4, P5, P6, dan perlakuan petani.



Gambar 3.4. Larva *S. Exigua* yang Menyerang Daun Tanaman Bawang Merah

3.3.1.3 Pengaruh Perlakuan Kombinasi (Kompos + Jerami + Macbio + Cendawan Antagonis) Terhadap Intensitas Serangan Larva *S. Exigua*

Hasil pengamatan terhadap intensitas serangan menunjukkan bahwa berdasarkan analisis sidik ragam, kombinasi perlakuan antara frekuensi aplikasi MacBio dan aplikasi cendawan *A flavus* yang dipadukan dengan penggunaan mulsa serta kompos memberikan pengaruh yang nyata hingga sangat nyata terhadap parameter rata-rata intensitas serangan larva *S. exigua* pada waktu pengamatan 2 sampai 7 MST. Hal ini menunjukkan bahwa interaksi antarperlakuan mampu menekan atau memengaruhi perkembangan serangan hama secara signifikan seiring bertambahnya umur tanaman. Sementara itu, pada pengamatan 1 MST perlakuan yang diberikan belum menunjukkan pengaruh yang nyata terhadap intensitas serangan, yang diduga disebabkan oleh tingkat serangan awal yang masih rendah atau gejala kerusakan yang belum tampak secara jelas pada tanaman, sehingga perbedaan antarperlakuan belum dapat terdeteksi secara statistik. Secara keseluruhan, hasil tersebut mengindikasikan bahwa efektivitas kombinasi perlakuan mulai terlihat dan memberikan dampak yang berarti setelah memasuki fase pertumbuhan tanaman berikutnya, sebagaimana disajikan pada tabel 3.3.

Tabel 3.3. Rata-rata Intensitas Serangan *S. exigua* pada Perlakuan Kombinasi (Kompos + Mulsa Jerami + Macbio + Cendawan Antagonis)

Perlakuan	Pengamatan ke- (MST)						
	1	2	3	4	5	6	7
P0	0,11 ^a	1,15 ^b	10,80 ^a	16,74 ^a	30,31 ^a	38,04 ^a	46,31 ^a
P1	1,43 ^a	3,65 ^a	10,65 ^a	13,26 ^a	17,89 ^{bc}	21,50 ^{bc}	24,52 ^{bc}
P2	0,11 ^a	0,22 ^b	5,33 ^b	9,15 ^b	15,04 ^{bc}	19,30 ^{bc}	22,54 ^{bcd}
P3	0,00 ^a	1,43 ^b	10,02 ^a	14,98 ^a	21,07 ^b	25,48 ^b	28,56 ^b
P4	0,00 ^a	0,09 ^b	5,69 ^b	7,59 ^b	10,69 ^d	12,94 ^d	15,76 ^{de}
P5	0,00 ^a	0,20 ^b	5,20 ^b	8,26 ^b	12,17 ^c	13,87 ^d	16,39 ^{cde}
P6	0,00 ^a	0,11 ^b	4,65 ^b	7,96 ^b	11,04 ^d	14,57 ^c	17,96 ^{cde}
P7	0,00 ^a	0,11 ^b	3,67 ^b	7,94 ^b	10,28 ^d	12,24 ^d	13,54 ^e
P8	0,00 ^a	0,04 ^b	2,94 ^b	6,22 ^b	7,94 ^d	10,11 ^d	12,28 ^e
NP BNT	0,93	2,03	3,35	4,22	6,12	7,25	8,38

Keterangan : Angka yang diikuti dengan huruf yang sama pada baris kolom (a,b) tidak berbeda nyata pada uji lanjut BNT taraf kepercayaan 5%. P0 = Kontrol; P1=*A. flavus*; P2 = Kompos + *A. flavus*; P3 = Kompos + Mulsa + *A. flavus*; P4 =Kompos + Mulsa + MacBio7; P5 = Kompos + Mulsa + MacBio7 + *A. flavus*; P6 = Kompos + Mulsa + MacBio3; P7 = Kompos + Mulsa + MacBio3 + *A. flavus*; P8 =Perlakuan Petani.

Tabel 3.3. menunjukkan bahwa pada pengamatan 2 MST perlakuan P1 yaitu cendawan *A. flavus* tanpa penggunaan mulsa dan kompos menunjukkan rata-rata intensitas serangan tertinggi yakni 3,65% dan secara statistik menunjukkan perbedaan yang nyata pada semua perlakuan termasuk kontrol dan perlakuan petani. Sedangkan pada pengamatan ke-3 dan ke-4 MST secara statistik menunjukkan perbedaan nyata antara perlakuan MacBio secara tunggal maupun kombinasi dengan cendawan *A. flavus* dan perlakuan cendawan *A.flavus* secara tunggal baik itu pada penggunaan mulsa maupun tanpa penggunaan mulsa dan kompos.

Pengamatan ke-5 sampai ke-7 MST tanpa perlakuan (kontrol) menunjukkan perbedaan yang sangat nyata terhadap semua perlakuan dengan rata-rata intensitas serangga tinggi pada tanpa perlakuan yaitu berkisar 30 sampai 46%. Namun pada perlakuan penggunaan MacBio dengan frekuensi 3 dan 7 hari menunjukkan perbedaan yang tidak nyata baik itu pada perlakuan secara tunggal maupun yang dikombinasikan dengan aplikasi cendawan *A. flavus*. Sedangkan pada perlakuan cendawan *A. flavus* secara tunggal pada penggunaan mulsa dan kompos maupun tanpa mulsa dan kompos menunjukkan perbedaan yang nyata pada semua perlakuan yang dikombinasikan dengan MacBio pada frekuensi pengaplikasian 3 dan 7 hari.



Gambar 3.5. Gejala Serangan *S. Exigua* pada Tanaman Bawang Merah

3.3.1.4 Pengaruh Perlakuan Kombinasi (Kompos + Mulsa Jerami + Macbio + Cendawan Antagonis) Terhadap Intensitas serangan *F. oxysporum*

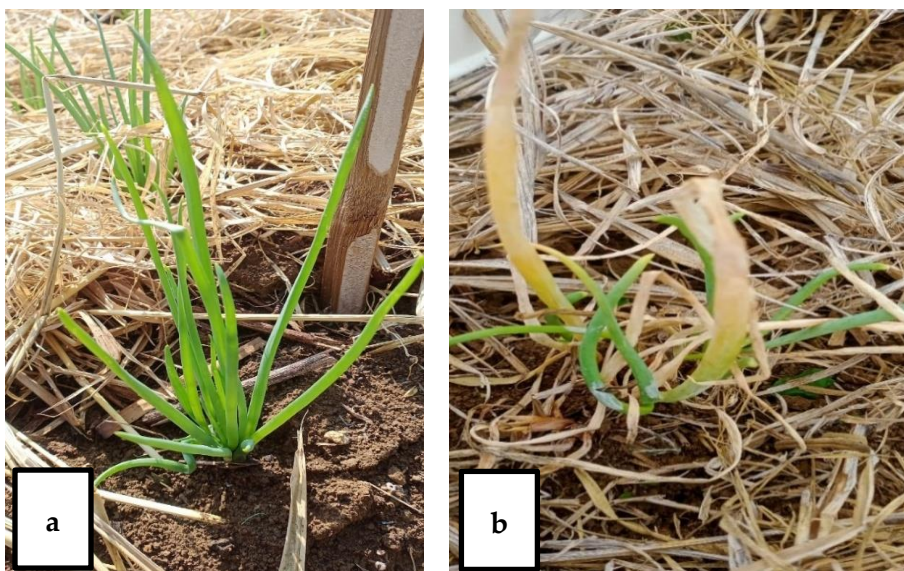
Hasil pengamatan terhadap rata-rata intensitas penyakit busuk pangkalyang disebabkan oleh *F. oxysporum* pada setiap perlakuan selama periode pengamatan disajikan pada Tabel 8. Analisis data menggunakan Uji BNT pada taraf kepercayaan 5% untuk mengetahui perbedaan pengaruh antar perlakuan pada setiap waktu pengamatan.

Tabel 3.4. Rata-rata Intensitas Serangan *F. oxysporum* pada Perlakuan Kombinasi (Kompos + Mulsa Jerami + Macbio + Cendawan Antagonis)

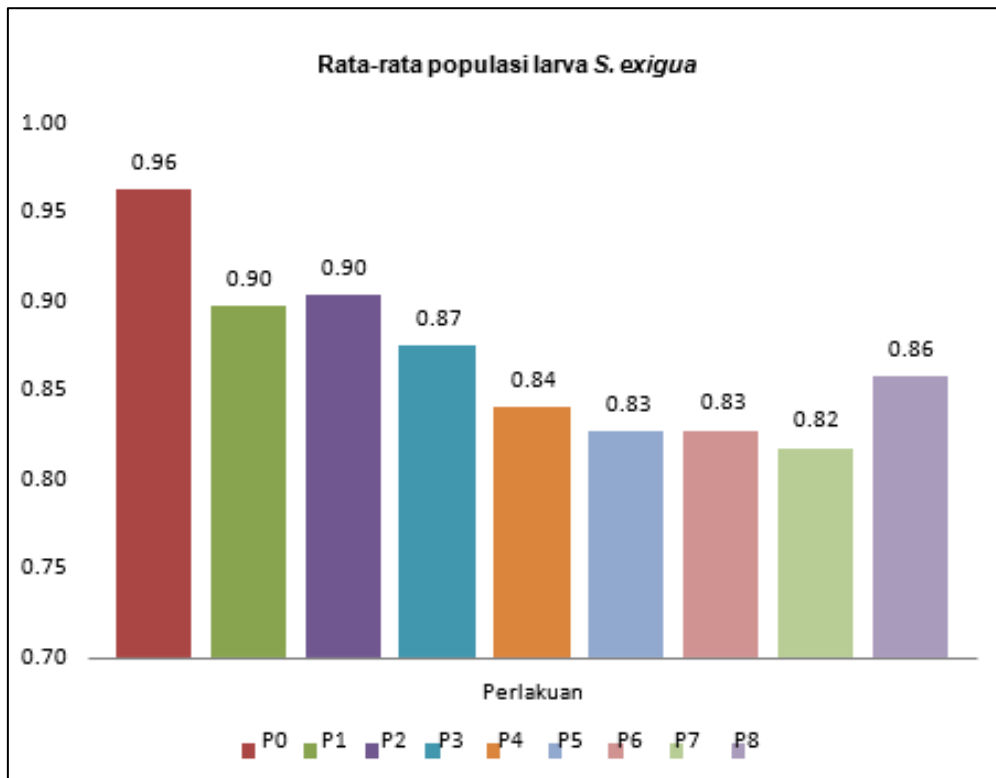
Perlakuan	Pengamatan						
	1	2	3	4	5	6	7
P0	0,59 ^a	2,26 ^a	33,17 ^a	43,54 ^a	53,01 ^a	57,26 ^a	62,65 ^a
P1	0,87 ^a	3,91 ^a	20,52 ^b	30,57	39,42 ^b	44,38 ^b	49,49 ^b
P2	0,09 ^a	1,78 ^a	19,48 ^b	27,70 ^{bc}	36,33 ^{bc}	41,85 ^{bc}	46,31 ^{bc}
P3	0,06 ^a	1,69 ^a	16,30 ^b	21,78 ^c	27,80 ^d	32,57 ^d	37,59 ^d
P4	0,15 ^a	2,44 ^a	17,09 ^b	28,33 ^{bc}	36,48 ^{bc}	40,76 ^{bc}	45,57 ^{bcd}
P5	0,00 ^a	1,76 ^a	22,41 ^b	32,04 ^b	37,87 ^{bc}	42,04 ^{bc}	47,48 ^b
P6	0,02 ^a	1,59 ^a	23,17 ^b	32,15 ^b	40,91 ^b	46,09 ^b	51,87 ^b
P7	0,00 ^a	1,35 ^a	20,10 ^b	25,59 ^{bc}	30,83 ^c	34,95 ^c	38,92 ^{cd}
P8	0,00 ^a	1,74 ^a	25,63 ^a	32,72 ^b	36,80 ^{bc}	39,74 ^{bc}	44,33 ^{bcd}
NP BNT	0,69	2,12	7,85	7,64	7,64	8,30	8,55

Keterangan : Angka yang diikuti dengan huruf yang sama pada baris kolom (a,b,c,d) tidak berbeda nyata pada uji lanjut BNT taraf kepercayaan 5%. P0 = Kontrol; P1=*A. flavus*; P2 = Kompos + *A. flavus*; P3 = Kompos + Mulsa + *A. flavus*; P4 =Kompos + Mulsa + MacBio7; P5 = Kompos + Mulsa + MacBio7 + *A. flavus*; P6 = Kompos + Mulsa + MacBio3; P7 = Kompos + Mulsa + MacBio3 + *A. flavus*; P8 =Perlakuan Petani

Tabel 3.4. menunjukkan bahwa intensitas serangan penyakit busuk pangkalsecara umum cenderung meningkat seiring bertambahnya waktu pengamatan (umur tanaman), mulai dari pengamatan pertama hingga pengamatan ketujuh pada semua perlakuan. Pada pengamatan terakhir (ke-7), perlakuan kontrol (P0) menunjukkan rata-rata intensitas penyakit tertinggi, yaitu sebesar 62,65%. Angka ini secara statistik berbeda nyata (ditandai notasi 'a') dengan sebagian besar perlakuan lainnya. Intensitas penyakit terendah pada pengamatan akhir ditunjukkan oleh perlakuan P3, yaitu sebesar 37,59% (notasi 'd'). Hasil ini menunjukkan bahwa perlakuan P3 adalah yang paling efektif dalam menekan perkembangan penyakit busuk pangkal dibandingkan dengan kontrol (P0) dan perlakuan lainnya. Selain P3, perlakuan lain yang juga menunjukkan efektivitas tinggi dalam menekan penyakit secara signifikan dibandingkan kontrol adalah P7 (38,92%), P8 (44,33%), P4 (45,57%), dan P2 (46,31%). Perlakuan-perlakuan ini tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan satu sama lain dalam beberapa kasus, seperti yang ditunjukkan oleh notasi huruf 'bcd' dan 'cd'. Sebaliknya, perlakuan P1 (49,49%) dan P6 (51,87%) memiliki efektivitas yang lebih rendah, meskipun masih lebih baik (berbeda nyata) dibandingkan perlakuan kontrol (P0). Secara keseluruhan, data ini mengindikasikan bahwa aplikasi perlakuan (P1 hingga P8) mampu menekan laju perkembangan penyakit busuk pangkal, dengan P3 dan P7 menjadi perlakuan yang memberikan hasil terbaik.



Gambar 3.6. (a) Tanaman Bawang yang Sehat, (b) Tanaman Bawang yang Terserang Penyakit busuk pangkal



Gambar 3.7. Total Rata-rata Intensitas penyakit busuk pangkal pada setiap perlakuan Keterangan : P0 = Kontrol; P1=*A. flavus*; P2 = Kompos + *A. flavus*; P3 = Kompos + Mulsa + *A. flavus*; P4 =Kompos + Mulsa + MacBio7; P5 = Kompos + Mulsa + MacBio7 + *A. flavus*; P6 = Kompos + Mulsa + MacBio3; P7 = Kompos + Mulsa + MacBio3 + *A. flavus*; P8 = Perlakuan Petani.

Gambar 3.7. menunjukkan total rata-rata intensitas penyakit busuk pangkal pada setiap perlakuan. Dari data tersebut, terlihat jelas bahwa perlakuan kontrol (P0) mengalami tingkat serangan penyakit tertinggi dengan rata-rata intensitas mencapai 36,07%. Sebaliknya, perlakuan yang paling efektif dalam menekan perkembangan penyakit adalah P3 (Kompos + Mulsa + *A. flavus*), yang berhasil menekan intensitas penyakit hingga angka terendah, yaitu 19,68%. Perlakuan lain yang juga menunjukkan efektivitas tinggi adalah P7 (Kompos + Mulsa + MacBio3 + *A. flavus*) dengan nilai 21,68%. Secara umum, seluruh perlakuan (P1-P8) terbukti lebih unggul dibandingkan kontrol (P0). Data ini mengonfirmasi bahwa kombinasi perlakuan P3 dan P7 memberikan perlindungan paling optimal terhadap serangan penyakit busuk pangkal.

3.3.1.5 Pengaruh Perlakuan Kombinasi (Kompos + Mulsa Jerami + Macbio + Cendawan Antagonis) Intensitas Serangan *A. porri* (Penyakit Bercak Ungu)

Tabel 3.5. Rata-rata Intensitas Serangan *A. Porri* pada Perlakuan Kombinasi (Kompos + Mulsa Jerami + Macbio + Cendawan Antagonis)

Perlakuan	Pengamatan ke – (MST)						
	1	2	3	4	5	6	7
P0	0,00 ^a	0,32 ^a	1,20 ^a	1,67 ^a	2,02 ^a	2,44 ^a	2,87 ^a
P1	0,00 ^a	0,02 ^b	0,95 ^a	1,11 ^a	1,26 ^b	1,71 ^a	1,89 ^a
P2	0,00 ^a	0,00 ^b	0,13 ^b	0,15 ^b	0,17 ^c	0,19 ^b	0,20 ^b
P3	0,00 ^a	0,00 ^b	0,09 ^b	0,15 ^b	0,17 ^c	0,17 ^b	0,19 ^b
P4	0,00 ^a	0,00 ^b	0,07 ^b	0,07 ^b	0,07 ^c	0,13 ^b	0,13 ^b
P5	0,00 ^a	0,00 ^b	0,07 ^b	0,07 ^b	0,17 ^c	0,17 ^b	0,22 ^b
P6	0,00 ^a	0,00 ^b	0,09 ^b	0,18 ^b	0,18 ^c	0,22 ^b	0,24 ^b
P7	0,00 ^a	0,00 ^b	0,06 ^b	0,06 ^b	0,06 ^c	0,06 ^b	0,07 ^b
P8	0,00 ^a	0,00 ^b	0,26 ^b	0,33 ^b	0,35 ^c	0,39 ^b	0,39 ^b
NP BNT	0,00	0,07	0,54	0,67	0,73	0,95	1,13

Keterangan : Angka yang diikuti dengan huruf yang sama pada baris kolom (a,b,c) tidak berbeda nyata pada uji lanjut BNT taraf kepercayaan 5%. P0 = Kontrol; P1=*A. flavus*; P2 = Kompos + *A. flavus*; P3 = Kompos + Mulsa + *A. flavus*; P4 =Kompos + Mulsa + MacBio7; P5 = Kompos + Mulsa + MacBio7 + *A. flavus*; P6 = Kompos + Mulsa + MacBio3; P7 = Kompos + Mulsa + MacBio3 + *A. flavus*; P8 =Perlakuan Petani

Berdasarkan grafik rata-rata intensitas penyakit, terlihat jelas bahwa perlakuan Kontrol (P0) mengalami peningkatan intensitas serangan penyakit bercak ungu yang paling tinggi dan cepat dibandingkan perlakuan lainnya. Infeksi mulai terdeteksi secara visual pada minggu ke-2 setelah tanam dan terus menanjak secara tajam (eksponensial) hingga mencapai puncaknya pada pengamatan minggu ke-7 dengan intensitas mendekati 3,00%. Tingginya laju infeksi pada P0 mengindikasikan bahwa tanpa adanya intervensi pengendalian, baik itu hayati, nabati, maupun mekanis, tanaman bawang merah sangat rentan terhadap serangan *A. porri*, terutama pada fase pertumbuhan vegetatif lanjut menuju generatif di mana kanopi tanaman mulai rimbun dan kelembapan mikro meningkat. Hal tersaebut sejalan dengan Mariam et al. (2024) laju infeksi *A. porri* sangat dipengaruhi oleh kelembapan (>80%). Pada petak tanpa perlakuan, tercatat paling tinggi, dengan gejala klinis yang berkembang cepat dari bercak kecil menjadi hawar daun total dalam hitungan minggu saat kondisi lingkungan mendukung. Ini mendukung grafik P0 Anda yang menanjak tajam. Begitupun dengan Priya et al. (2018) menyatakan bahwa insidensi penyakit pada tanaman kontrol dapat mencapai 73,33%. Studi ini menekankan bahwa cendawan patogen *A. porri* bersifat polisiklik, sehingga tanpa intervensi, inokulum akan menumpuk secara eksponensial.

Perlakuan antagonis tunggal (P1), yang ditunjukkan oleh garis kuning,

memperlihatkan kemampuan penekanan penyakit yang moderat jika dibandingkan dengan kontrol. Meskipun intensitas serangannya lebih rendah dari P0 (berkisar di angka 1,8% - 1,9% pada minggu ke-7), tren grafiknya masih menunjukkan kenaikan yang cukup konsisten dari minggu ke-3 hingga akhir pengamatan. Hal ini mengisyaratkan bahwa penggunaan cendawan antagonis secara tunggal di lapangan mungkin menghadapi tantangan stabilitas lingkungan (seperti paparan sinar UV atau fluktuasi suhu), sehingga kinerjanya dalam menekan patogen tidak seoptimal jika dikombinasikan dengan bahan pendukung lainnya. Hal ini sejalan Jadhav et al. (2025) yang membandingkan perlakuan tunggal ekstrak daun dan *Trichoderma harzianum*. Hasilnya menunjukkan bahwa meskipun *T. harzianum* mampu menekan pertumbuhan miselium secara signifikan *in vitro*, efektivitasnya di lapangan terkadang lebih rendah dibandingkan perlakuan kimia standar (Mancozeb) atau kombinasi ekstrak tertentu. Hal ini menjelaskan mengapa grafik P1 berada di tengah-tengah (lebih baik dari kontrol, tapi belum maksimal).

Fenomena sinergitas yang menjadi fokus penelitian ini terbukti secara signifikan pada klaster grafik bagian bawah (P2 hingga P7). Garis-garis grafik pada perlakuan ini cenderung melandai dan "berhimpit" di angka intensitas yang sangat rendah (di bawah 0,5%) sepanjang periode pengamatan. Rendahnya serangan pada perlakuan kombinasi (seperti Kompos + Mulsa + *A. flavus* + MacBio) membuktikan bahwa penggabungan agen hayati dengan ekstrak nabati atau bahan organik menciptakan mekanisme pertahanan berlapis. Kompos dan mulsa kemungkinan besar mendukung viabilitas cendawan antagonis agar bertahan hidup lebih lama. Ekstrak nabati mungkin memberikan efek *knock-down* awal pada spora patogen, sehingga infeksi *A. porri* dapat ditekan secara maksimal hampir mendekati nol. Kalsoom et al. (2019) menyatakan ekstrak tanaman (seperti *Polyalthia longifolia*) bekerja sinergis ketika dikombinasikan dengan agen pengendali lain. Kombinasi ini memberikan persentase penghambatan yang jauh lebih tinggi daripada penjumlahan efek masing-masing perlakuan

Secara keseluruhan, data pengamatan dari minggu ke-1 hingga ke-7 menegaskan bahwa perlakuan sinergis memberikan perlindungan yang jauh lebih stabil dibandingkan perlakuan tunggal. Pada fase kritis tanaman, yakni pada saat umbi mulai membesar dan tanaman rentan, perlakuan kombinasi mampu menahan laju infeksi agar tidak meledak, berbeda dengan P0 dan P1 yang grafiknya terus naik. Hal ini mengonfirmasi hipotesis penelitian bahwa integrasi antara ekstrak nabati, agen antagonis, dan teknik budidaya (kompos/mulsa) mampu bekerja secara sinergis dalam menekan perkembangan penyakit bercak ungu di lapangan secara berkelanjutan.

Savitha & Ajithkumar (2014) menyatakan bahwa perlakuan dengan bioagen (*Pseudomonas/Trichoderma*) diikuti penyemprotan ekstrak/fungisida memberikan hasil panen umbi tertinggi dan intensitas penyakit terendah secara konsisten. Studi ini mendukung argumen bahwa pendekatan multi-taktik lebih stabil menjaga tanaman hingga fase generatif akhir. Sejalan dengan itu, Ara et al. (2021) menyatakan bahwa kombinasi pembenah tanah (bahan organik), agen hayati, dan ekstrak botani memberikan pengurangan penyakit sebesar 67,6% - 99,6% dan meningkatkan hasil hingga 134% dibandingkan kontrol. Data ini sangat cocok dengan grafik di mana perlakuan kombinasi ($P5 = 0,10$ dan $P7 = 0,04$) memiliki intensitas penyakit mendekati nol membuktikan adanya interaksi positif (saling memperkuat).

3.3.2 Pembahasan

Sinergitas antara ekstrak tumbuhan, cendawan *A. flavus*, dan teknik budidaya organik (kompos serta mulsa jerami padi) terbukti efektif menurunkan intensitas serangan *S. exigua*, *F. oxysporum*, dan *A. porri* secara signifikan. Pendekatan ini mendukung pengembangan sistem pertanian bawang merah berkelanjutan yang ramah lingkungan dan ekonomis.

3.3.2.1 Pengaruh Sinergitas Ekstrak Tumbuhan dan Cendawan Antagonis terhadap populasi *S. exigua*

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa strategi pengendalian berbasis bahan organik dan agen hayati memberikan pengaruh yang signifikan dalam menekan populasi *S. exigua* pada beberapa fase hidupnya. Temuan ini sejalan dengan prinsip PHT yang mengedepankan metode ramah lingkungan untuk mengurangi ketergantungan pada insektisida sintetik.

Secara spesifik, kombinasi perlakuan kompos, mulsa jerami padi, ekstrak MacBio, dan cendawan antagonis *A. flavus* (P4) terbukti paling efektif dalam menekan populasi telur (Tabel 3.1). Populasi telur terendah pada perlakuan P4, dibandingkan dengan populasi tertinggi pada kontrol (P0), mengindikasikan bahwa kombinasi tersebut berhasil mengganggu atau menurunkan aktivitas oviposisi imago betina. Hal ini dapat dijelaskan melalui beberapa mekanisme. Pertama, aplikasi kompos dan mulsa jerami padi dapat memperbaiki kesuburan tanah dan kesehatan tanaman, sehingga meningkatkan ketahanan tanaman inang secara tidak langsung (Zehnder et al., 2006). Kedua, ekstrak tumbuhan yang digunakan dalam MacBio diduga memiliki sifat repellent (penolak) yang mengurangi daya tarik tanaman terhadap serangga betina untuk meletakkan telur, sebagaimana yang dilaporkan oleh Isman (2019) mengenai peran fitokimia sebagai pengendali hama berbasis perilaku.

Pada fase larva (Tabel 3.2), perlakuan yang mengandung MacBio, baik tunggal maupun dalam kombinasi dengan *A. flavus*, secara konsisten menunjukkan populasi larva yang lebih rendah dibandingkan kontrol. Meskipun perbedaan antar perlakuan tidak selalu signifikan secara statistik, pola ini menguatkan dugaan adanya efek antifeedant dan toksik dari ekstrak tumbuhan terhadap larva *S. exigua*. Senyawa bioaktif seperti flavonoid, fenol, dan senyawa dari ekstrak tumbuhan dapat mengganggu fisiologi pencernaan dan sistem saraf larva, sehingga menghambat aktivitas makan, pertumbuhan, dan perkembangan mereka. Misalnya, ekstrak daun *Ailanthus altissima* menunjukkan aktivitas penghambatan makan yang kuat pada larva *Lymantria dispar* tanpa toksisitas kontak atau pencernaan, yang menyebabkan penurunan konsumsi dan pertumbuhan serta memperlambat waktu perkembangan larva (Milanović et al., 2025). Penurunan aktivitas makan larva ini secara langsung berpotensi menekan tingkat kerusakan tanaman.

Ekstrak dari *Psidium guajava* juga memiliki efek racun yang signifikan terhadap larva nyamuk *Aedes aegypti* dan *Culex quinquefasciatus*, dengan modulasi enzim antioksidan yang menunjukkan gangguan fisiologis pada larva (Aremu et al., 2024). Senyawa bioaktif dari fungi *Penicillium* sp. menunjukkan aktivitas antifeedant dan larvisidal yang efektif terhadap larva *S. litura* dan *C. quinquefasciatus*, yang mengindikasikan potensi pengendalian hayati berbasis metabolit sekunder (Arunthirumeni et al., 2022). Selain itu, senyawa bioaktif dari biji *Handroanthus impetiginosus* seperti asam oleat dan ester metilnya menunjukkan potensi larvisidal tinggi terhadap *Culex quinquefasciatus* (Santos et al., 2025). Secara keseluruhan, senyawa bioaktif dari berbagai sumber alami dapat mengganggu fungsi pencernaan dan saraf larva, menghambat makan dan perkembangan, serta meningkatkan kematian larva, sehingga berpotensi digunakan sebagai agen pengendalian hama yang ramah lingkungan.

Peran *A. flavus* sebagai cendawan antagonis dalam kombinasi perlakuan perlu dikaji lebih lanjut. Meskipun dalam penelitian ini efek kombinasinya tidak selalu lebih unggul secara signifikan daripada MacBio tunggal, *A. flavus* berpotensi mengendalikan hama secara sinergis melalui beberapa mekanisme, termasuk kompetisi ruang dan nutrisi serta produksi metabolit sekunder yang merugikan perkembangan telur dan larva hama. Sebagai contoh, *A. flavus* yang berperan sebagai cendawan endofit dapat mengurangi performa dan preferensi inang pada ulat hama seperti *S. litura* dengan menurunkan laju pertumbuhan dan konsumsi larva serta menghambat enzim pencernaan dan detoksifikasi larva tersebut (Kaur et al., 2025). Interaksi sinergis antara bahan

organik, biopestisida nabati, dan agen mikroba merupakan kunci dalam pendekatan pengendalian yang berkelanjutan, karena menciptakan lingkungan yang tidak kondusif bagi siklus hidup hama.

Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa integrasi beberapa komponen pengendalian hayati dan organik (kompos, mulsa, ekstrak tumbuhan, dan cendawan antagonis) lebih efektif dalam menekan populasi *S. exigua* daripada aplikasi tunggal, khususnya pada fase telur. Kombinasi ini tidak hanya menekan populasi tetapi juga berpotensi memutus siklus hidup hama melalui berbagai mode aksi. Implikasi praktis dari temuan ini adalah rekomendasi bagi petani untuk mengadopsi pendekatan kombinasi sebagai bagian dari strategi PHT. Namun, studi lebih lanjut mengenai dosis optimum, waktu aplikasi, serta stabilitas formulasi MacBio di lapangan diperlukan untuk memastikan efektivitas dan keberlanjutannya.

3.3.2.2 Intensitas Serangan *S. exigua*

Temuan penelitian ini mengindikasikan bahwa perlakuan kombinasi yang mengintegrasikan pengelolaan bahan organik, mulsa, dan agen hayati efektif dalam menekan intensitas serangan hama pada fase pertumbuhan awal tanaman (minggu ke-2 hingga ke-7). Hasil analisis statistik yang menunjukkan penurunan signifikan pada perlakuan P4–P7 dibandingkan kontrol (Tabel 3.3) menguatkan proposisi bahwa pendekatan pengendalian yang multifaset memberikan hasil yang lebih unggul daripada tidak adanya intervensi.

Nilai intensitas serangan tertinggi pada kontrol (46,31%) mencerminkan kerentanan tanaman dalam kondisi tanpa perlindungan. Sebaliknya, intensitas terendah yang dicapai oleh perlakuan P8 (petani) dan P7 (Kompos + Mulsa + MacBio3 + *A. flavus*) mengisyaratkan dua hal. Pertama, praktik petani (P8) yang mungkin telah teruji secara empiris telah memiliki efektivitas tertentu. Kedua, dan yang lebih penting secara ilmiah, perlakuan P7 merepresentasikan strategi terpadu yang dioptimalkan. Efektivitas perlakuan P7 didukung oleh mekanisme sinergis dari komponen-komponennya. Kombinasi kompos dan mulsa berperan dalam menciptakan lingkungan fisik dan biologis tanah yang lebih sehat, yang pada gilirannya dapat meningkatkan kelimpahan dan keanekaragaman predator alami (Maeder et al., 2002). Sementara itu, komponen MacBio dan agen antagonis bekerja secara langsung terhadap hama melalui mekanisme toksik dan patogenisitas spesifik yang mematikan larva (Stenberg et al., 2021).

Sinergi ini selaras dengan prinsip PHT yang menekankan pada pemanfaatan berbagai taktik kompatibel untuk menekan populasi hama di bawah ambang ekonomi, sekaligus mengurangi ketergantungan pada insektisida sintetik (Deguine et al., 2021).

Perbaikan kondisi tanah oleh bahan organik dan mulsa tidak hanya mendukung kesehatan tanaman sehingga meningkatkan ketahanan intrinsik, tetapi juga menyediakan habitat dan sumber daya alternatif bagi musuh alami, memperkuat regulasi biologis (Altieri & Nicholls, 2018). Keberhasilan kombinasi ini menunjukkan bahwa pendekatan yang memadukan pengelolaan habitat (melalui perbaikan tanah dan penambahan mulsa) dengan pengendalian biologis langsung (melalui agen hayati dan bio-pestisida nabati) dapat menghasilkan supresi hama yang lebih konsisten dan berkelanjutan dibandingkan aplikasi komponen tunggal.

3.3.2.3 Penekanan Penyakit Busuk Pangkal

Berdasarkan hasil penelitian yang tertera pada tabel 3.4, perlakuan kombinasi yang mengintegrasikan bahan organik dan agen hayati terbukti sangat efektif dalam menekan intensitas penyakit busuk pangkal. Perlakuan P3 (Kompos + Mulsa + Antagonis) dan P7 (Kompos + Mulsa + MacBio3 + Antagonis) mencatat intensitas penyakit terendah, masing-masing sebesar 37,59% dan 38,92%. Nilai ini jauh lebih rendah dibandingkan dengan tanaman kontrol yang mencapai 62,65%. Temuan ini menunjukkan bahwa pendekatan pengendalian terpadu secara signifikan lebih unggul daripada tanpa perlakuan apa pun.

Efektivitas perlakuan kombinasi ini dapat dijelaskan melalui beberapa mekanisme sinergis. Pertama, penggunaan bahan organik seperti kompos dan mulsa menciptakan lingkungan tanah yang lebih kondusif bagi mikroba menguntungkan. Bahan organik meningkatkan kandungan C-organik tanah, yang berfungsi sebagai sumber energi dan nutrisi bagi perkembangan mikroba antagonis. Peningkatan aktivitas mikroba antagonis ini secara langsung bersaing dengan cendawan patogen *Fusarium*, baik secara ruang, nutrisi, maupun melalui produksi senyawa antibiosis, sehingga menurunkan populasi patogen di dalam tanah secara alami (Bonanomi et al., 2009; Mazzola, 2007). Penelitian ini menyebutkan bahwa kombinasi ini mampu mengurangi intensitas penyakit hingga 50%, sebuah pencapaian yang signifikan dalam pengelolaan penyakit tular tanah.

Kedua, MacBio3 memperkuat efek sinergis ini. Penambahan agen biokontrol seperti MacBio3 dapat memperkuat efek sinergis dalam pengendalian cendawan patogen dengan memanfaatkan metabolit fenolik dan terpenoid yang bersifat fungistatik, yaitu menghambat pertumbuhan dan perkembangan cendawan. Senyawa antimikroba ini bekerja dengan merusak membran sel cendawan atau mengganggu proses metabolisme mereka, sehingga efektif dalam mengendalikan patogen secara langsung. Mekanisme kerja agen biokontrol umumnya meliputi produksi molekul antimikroba, enzim hidrolitik, senyawa volatil, serta kompetisi nutrisi dan ruang, yang secara kolektif

meningkatkan efektivitas pengendalian penyakit tanaman. Selain itu, agen biokontrol juga diketahui dapat memicu resistensi sistemik pada tanaman sertamemperkuat pertahanan alami terhadap infeksi patogen. Pengembangan agen biokontrol mendukung pertanian berkelanjutan (Couso et al., 2021; Pellan et al., 2021; Dukare et al., 2018; Spadaro, 2015; Srivastava et al., 2021). Ketika metabolit ini dilepaskan ke dalam rhizosfer yang telah diperkaya oleh bahan organik, efek penghambatannya menjadi lebih optimal dan berkelanjutan.

Kombinasi antara perbaikan kondisi tanah melalui bahan organik (kompos dan mulsa) dan penyediaan agen penghambat langsung (mikroba antagonis dan metabolit fungistatik dari MacBio) menciptakan sebuah sistem pengendalian ganda. Sistem ini tidak hanya menekan patogen secara langsung, tetapi juga membangun ketahanan biologis tanah dalam jangka panjang. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip pengelolaan penyakit terpadu (Pal & Gardener, 2006).

3.3.2.4 Penekanan Penyakit Bercak Ungu

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan kombinasi atau sinergis (P2–P7) antara ekstrak tanaman, cendawan antagonis, dan mulsa secara signifikan menekan intensitas penyakit bercak ungu hingga mendekati nol (<0,5%) pada akhir masa pengamatan. Sebaliknya, pada tanaman kontrol yang tidak mendapat perlakuan, intensitas penyakit mencapai hampir 3% (Tabel 3.5). Pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Din et al. (2024) dan Mustafa et al. (2024), beberapa ekstrak tanaman seperti *Datura stramonium* dan *Nicotiana tabacum* menunjukkan aktivitas antifungal yang signifikan terhadap *A. porri*, patogen penyebab penyakit ini, dengan pengurangan tingkat keparahan penyakit sekitar 40-46% dalam uji rumah kaca. Selain itu, penggunaan cendawan antagonis seperti *Trichoderma viride* juga mampu menghambat pertumbuhan patogen secara efektif (Rahman et al., 2015).

Kombinasi ekstrak tanaman dengan fungisida dosis rendah seperti mancozeb meningkatkan efikasi pengendalian penyakit secara sinergis, mengurangi kebutuhan penggunaan fungisida kimia dan dampak lingkungannya (Kalsoom et al., 2019). Penggunaan mulsa dan amandemen tanah juga berkontribusi pada peningkatan hasil dan pengurangan penyakit, seperti yang dilaporkan dalam studi pengelolaan terpadu di Bangladesh (Ara et al., 2022). Secara keseluruhan, pendekatan terpadu yang menggabungkan ekstrak tanaman, bioagent, dan praktik agronomi seperti mulsa memberikan solusi yang ramah lingkungan dan efektif untuk mengendalikan penyakit bercak ungu pada tanaman bawang dan sejenisnya.

Fenomena penekanan penyakit yang mendekati nol ini mengindikasikan adanya

mekanisme kerja yang saling melengkapi dan memperkuat. Pertama, aplikasi ekstrak tanaman kemungkinan berperan sebagai penginduksi ketahanan sistemik pada tanaman. Senyawa bioaktif dalam ekstrak tanaman, terutama metabolit sekunder seperti terpenoid, alkaloid, dan polifenol, dapat memicu respons pertahanan tanaman dengan mengaktifkan jalur sinyal seperti asam jasmonat dan asam salisilat yang meningkatkan ekspresi protein. Senyawa ini juga dapat memperkuat dinding sel tanaman dan menginduksi reaksi hipersensitif yang membatasi penyebaran patogen melalui mekanisme perubahan permeabilitas membran (Kaur et al., 2022; Anjali et al., 2023). Senyawa ini mengatur faktor transkripsi yang mengaktifkan gen pertahanan sehingga tanaman mampu merespons infeksi secara cepat dan efektif (Anjali et al., 2023; Shiade et al., 2024). Pemanfaatannya menjadi alternatif ramah lingkungan dibanding pestisida kimia (Jamiołkowska, 2020; Bektas & Eulgem, 2015), karena meningkatkan kesiapan tanaman melalui aktivasi enzim PR dan penguatan dinding sel.

Cendawan antagonis di rizosfer dan permukaan tanaman melindungi inang melalui kompetisi ruang dan nutrisi, parasitisme, serta produksi antibiotik. *Trichoderma*, *Penicillium*, dan *Aspergillus* terbukti efektif dalam menghambat berbagai jenis patogen (Pant et al., 2024; Chen et al., 2021; Fofana et al., 2025; Liu et al., 2023). Cendawan ini juga diketahui menghasilkan enzim perusak dinding sel patogen dan merangsang pertahanan tanaman (Tian et al., 2024; Karunasinghe et al., 2020; Naziya et al., 2019). Keberadaan komunitas mikroba antagonis bahkan mampu menekan infeksi *Fusarium solani* secara signifikan (Li et al., 2024), sehingga berpotensi menggantikan fungisida kimia dalam pengelolaan penyakit tanaman. Saat ini diketahui penggunaan mulsa jerami diketahui dapat meningkatkan kelembaban tanah dan mengubah struktur komunitas bakteri (Wan et al., 2022; Huang et al., 2019; Liu et al., 2021; Wang et al., 2020). Mulsa juga dapat mengurangi kompleksitas jaringan mikroba namun meningkatkan interaksi positif antar mikroba, yang berpotensi meningkatkan aktivitas mikroba antagonis terhadap patogen (Wang et al., 2020; Wang et al., 2020). Pada penggunaan mulsa plastik, residunya dapat memengaruhi metabolisme mikroba tanah serta meningkatkan keberadaan patogen potensial plastisfer yakni komunitas mikroba yang melekat di permukaan plastik tanpa menyebabkan perubahan signifikan pada komunitas mikroba di rizosfer (Wu et al., 2021; Qi et al., 2022).

Mulsa menciptakan iklim mikro tanah yang lebih lembab dan suhu yang lebih stabil, yang dapat memperlambat penurunan populasi patogen, sehingga berpotensi meningkatkan risiko kontaminasi (Micallef et al., 2023). Secara keseluruhan, mulsa tidak hanya menciptakan lingkungan fisik yang kurang menguntungkan bagi beberapa

patogen, tetapi juga dapat meningkatkan aktivitas mikroba antagonis di tanah, mendukung kesehatan tanah dan tanaman, meskipun efeknya bergantung pada jenis mulsa, frekuensi aplikasi, dan kondisi lingkungan sekitar.

Interaksi sinergis ketiga faktor tersebut menciptakan sebuah sistem pertahanan berlapis (*multilayered defense system*). Ekstrak tanaman mempersiapkan dan mengaktifkan mekanisme pertahanan inang, cendawan antagonis berperan sebagai garis pertahanan aktif di sekitar perakaran dan tajuk, sementara mulsa mendukung kinerja agen antagonis dan menekan inokulum patogen. Pendekatan ini selaras dengan prinsip PHT yang menekankan pada pemanfaatan berbagai teknik ramah lingkungan secara kompatibel (Nurhayati et al., 2021).

3.3.2.5 Implikasi terhadap Pertanian Berkelanjutan

Kombinasi kompos, mulsa organik, ekstrak tumbuhan, dan cendawan antagonis *A. flavus* terbukti efektif dalam menekan intensitas serangan *S. exigua* dan penyakit layu *F. oxysporum* serta patogen penyebab penyakit bercak ungu. Pendekatan ini menawarkan strategi PHT, mengurangi ketergantungan terhadap pestisida sintetis, dan memperkuat produktivitas serta kesehatan tanah.

Pendekatan biologis-integratif ini sesuai dengan konsep pertanian berkelanjutan sebagaimana dikemukakan oleh Altieri (2020), bahwa stabilitas agroekosistem dapat dicapai melalui diversifikasi hayati dan penggunaan input alami yang mendukung keseimbangan mikroba tanah serta menekan patogen secara alami.

3.4. Kesimpulan

Aplikasi Kompos, mulsa organik Jerami padi, ekstrak tumbuhan (MacBio), dan cendawan antagonis *A. flavus* secara signifikan mengurangi jumlah kelompok telur, populasi larva, intensitas serangan *S. exigua*, intensitas serangan penyakit layu pusaarium *F. oxysporum*. Aplikasi ekstrak tumbuhan, cendawan antagonis (*A. flavus*) dan mulsa Jerami padi merupakan alternatif pengendalian yang sangat bagus untuk pertanian berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aprially, A.S, Sjam, S., Dewi, VS, Agustina, Y.E. (2021). Sinergi ekstrak tumbuhan *Calotropis gigantea* dan *Cresscentia cujete* sebagai penghambat penetasan telur dan antifeedant terhadap *Spodoptera frugiperda*. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci* 807. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/807/2/022086>
- Altieri, M., & Nicholls, C. (2018). Biodiversity and pest management in agroecosystems. <https://doi.org/10.1201/9781482277937>
- Anjali, Kumar, S., Korra, T., Thakur, R., Arutselvan, R., Kashyap, A. S., Nehela, Y., Chaplygin, V., Minkina, T., & Keswani, C. (2023). Role of plant secondary metabolites in defence and transcriptional regulation in response to biotic stress. *Plant Stress*, 8, 100154. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100154>
- Anjali, Kumar, S., Korra, T., Thakur, R., Arutselvan, R., Kashyap, A. S., Nehela, Y., Chaplygin, V., Minkina, T., & Keswani, C. (2023). Role of plant secondary metabolites in defence and transcriptional regulation in response to biotic stress. *Plant Stress*, 8, 100154. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100154>
- Ara, Masud, M., Akter, K., Islam, & Ahmmed, A. (2022). Integrated management of purple blotch disease complex for onion seed production in Bangladesh. *Bangladesh Journal of Agriculture*. 31–44. <https://doi.org/10.3329/bjagri.v46i1-6.59971>
- Aremu, H. K., Oyewole, O. I., Adenmosun, A., Oyafajo, L., Iwalewa, Z. O., Ademola, A., Azeez, L. A., & Adeleke, M. A. (2024). Bioactive components in *Psidium guajava* extracts elicit biotoxic attributes and distinct antioxidant enzyme modulation in the larvae of vectors of lymphatic filariasis and dengue. *Experimental Parasitology*, 261, 108766. <https://doi.org/10.1016/j.exppara.2024.108766>
- Arunthirumeni, M., Vinitha, G., & Shivakumar, M. S. (2022). Antifeedant and larvicidal activity of bioactive compounds isolated from entomopathogenic fungi *Penicillium* sp. for the kontrol of agricultural and medically important insect pest (*Spodoptera litura* and *Culex quinquefasciatus*). *Parasitology International*, 92, 102688. <https://doi.org/10.1016/j.parint.2022.102688>
- Bektas, Y., & Eulgem, T. (2015). Synthetic plant defense elicitors. *Frontiers in Plant Science*, 5, 804. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00804>
- Bonanomi, G., Antignani, V., Capodilupo, M., & Scala, F. (2009). Identifying the characteristics of organic soil amendments that suppress soilborne plant diseases. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(2), 136–144. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.10.012>
- Chen, J., Zhou, L., Din, I. U., Arafat, Y., Li, Q., Wang, J., Wu, T., Wu, L., Wu, H., Qin, X., Pokhrel, G. R., Lin, S., & Lin, W. (2021). Antagonistic Activity of *Trichoderma* spp. Against *Fusarium oxysporum* in Rhizosphere of *Radix pseudostellariae* Triggers the Expression of Host Defense Genes and Improves Its Growth Under Long-Term Monoculture System. *Frontiers in Microbiology*, 12, 579920. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.579920>
- Chen, J., Zhou, L., Din, I. U., Arafat, Y., Li, Q., Wang, J., Wu, T., Wu, L., Wu, H., Qin, X., Pokhrel, G. R., Lin, S., & Lin, W. (2021). Antagonistic Activity of *Trichoderma* spp. Against *Fusarium oxysporum* in Rhizosphere of *Radix pseudostellariae* Triggers the Expression of Host Defense Genes and Improves Its Growth Under Long-Term Monoculture System. *Frontiers in Microbiology*, 12, 579920. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.579920>

- Deguine, J., Aubertot, J., Flor, R. J., Lescourret, F., Wyckhuys, K. A., & Ratnadass, A. (2021). Integrated pest management: good intentions, hard realities. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 41(3). <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00689-w>
- Dukare, A. S., Paul, S., Nambi, V. E., Gupta, R. K., Singh, R., Sharma, K., & Vishwakarma, R. K. (2018). Exploitation of microbial antagonists for the kontrol of postharvest diseases of fruits: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(9), 1498–1513. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1417235>
- Fofana, O., Bi, R. D. R. V., & Kouassi, K. C. (2025). Evaluation of Biokontrol of *Mycosphaerella fijiensis* by five Species of Rhizosphere Fungi of Plantain. *Journal of Basic Microbiology*, 65(9), e70020. <https://doi.org/10.1002/jobm.70020>
- Huang, F., Liu, Z., Mou, H., Li, J., Zhang, P., & Jia, Z. (2019). Impact of farmland mulching practices on the soil bacterial community structure in the semiarid area of the loess plateau in China. *European Journal of Soil Biology*, 92, 8–15. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2019.04.001>
- Isman, M. B. (2019). Botanical Insecticides in the Twenty-First Century—Fulfilling their promise. *Annual Review of Entomology*, 65(1), 233–249. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011019-025010>
- Kalsoom, R., Chohan, S., Haider, M. S., & Abid, M. (2019). Synergistic effect of plant extracts and fungicide against purple blotch disease of onion. *Plant Protection*, 3(2). <https://doi.org/10.33804/pp.003.02.0135>
- Karunasinghe, T. G., Maharachchikumbura, S. S. N., Velazhahan, R., & Al-Sadi, A. M. (2020). Antagonistic Activity of Endophytic and Rhizosphere Fungi Isolated From Sea Purslane (*Sesuvium portulacastrum*) Against *Pythium* Damping off of Cucumber. *Plant Disease*, 104(8), 2158–2167. <https://doi.org/10.1094/pdis-01-20-0003-re>
- Kaur, S., Samota, M. K., Choudhary, M., Choudhary, M., Pandey, A. K., Sharma, A., & Thakur, J. (2022). How do plants defend themselves against pathogens—Biochemical mechanisms and genetic interventions. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 28(2), 485–504. <https://doi.org/10.1007/s12298-022-01146-y>
- Kaur, T., Datta, R., Mahajan, A., Kaur, A., & Kaur, S. (2025). Endophytic colonization of cauliflower by *Aspergillus flavus* and *Aspergillus niger* reduces performance and host preference in tobacco caterpillar, *Spodoptera litura*. *Entomologia Experimentalis Et Applicata*, 173(9), 1011–1021. <https://doi.org/10.1111/eea.13606>
- Li, B., Yang, P., Feng, Y., Du, C., Qi, G., & Zhao, X. (2024). Rhizospheric microbiota of suppressive soil protect plants against *Fusarium solani* infection. *Pest Management Science*, 80(9), 4186–4198. <https://doi.org/10.1002/ps.8122>
- Li, B., Yang, P., Feng, Y., Du, C., Qi, G., & Zhao, X. (2024). Rhizospheric microbiota of suppressive soil protect plants against *Fusarium solani* infection. *Pest Management Science*, 80(9), 4186–4198. <https://doi.org/10.1002/ps.8122>
- Liu, J., Li, S., Yue, S., Tian, J., Chen, H., Jiang, H., Siddique, K. H., Zhan, A., Fang, Q., & Yu, Q. (2021). Soil microbial community and network changes after long-term use of plastic mulch and nitrogen fertilization on semiarid farmland. *Geoderma*, 396, 115086. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115086>
- Liu, S., Tao, C., Zhang, L., Wang, Z., Xiong, W., Xiang, D., Sheng, O., Wang, J., Li, R., Shen, Z., Li, C., Shen, Q., & Kowalchuk, G. A. (2023). Plant pathogen resistance is mediated by recruitment of specific rhizosphere fungi. *The ISME Journal*, 17(6), 931–942. <https://doi.org/10.1038/s41396-023-01406-z>

- Maeder, P., Fliessbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P., & Niggli, U. (2002). Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science*, 296(5573), 1694–1697. <https://doi.org/10.1126/science.1071148>
- Mazzola, M. (2007). Manipulation of rhizosphere bacterial communities to induce suppressive soils. *PubMed*, 39(3), 213–220. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19259490>
- Micallef, S. A., Callahan, M. T., McEgan, R., & Martinez, L. (2023). Soil Microclimate and Persistence of Foodborne Patogens *Escherichia coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes*, and *Salmonella enterica* Newport in Soil Affected by Mulch Type. *Journal of Food Protection*, 86(11), 100159. <https://doi.org/10.1016/j.jfp.2023.100159>
- Milanović, S. D., Simović, N., Dobrosavljević, J., Milenković, I. L., Branković, Z., Ćirković, J., Radojković, A., Perać, S., Jovanović, J., Tadić, V., Žugić, A., & Branković, G. (2025). Bioactivity of the Tree of Heaven Leaf Extracts Incorporated into Biopolymer Matrix Against Spongy Moth Larvae. *Forests*, 16(2), 375. <https://doi.org/10.3390/f16020375>
- Muhae-Ud-Din, G., Kalsoom, R., Yang, Z., Chohan, S., Haider, M. S., Ahmed, D., & Abid, M. (2024). Identification of *Alternaria* species associated with purple blotch disease of onions in Southern Punjab of Pakistan and evaluation of plant-based fungicides for disease control. *Tropical Plant Pathology*, 49(5), 601–611. <https://doi.org/10.1007/s40858-024-00654-4>
- Mustafa, A., Naseer, S., Saeed, S., Kalsoom, R., Ahmad, S., Khan, A. A., Shahzad, U., Umer, M., & Ali, Y. (2024). Effectiveness of onion germplasm, fungicides, and plant extracts in managing purple blotch disease of onion. *Plant Protection*, 8(2), 293–301. <https://doi.org/10.33804/pp.008.02.5115>
- Naziya, B., Murali, M., & Amruthesh, K. N. (2019). Plant Growth-Promoting Fungi (PGPF) Instigate Plant Growth and Induce Disease Resistance in *Capsicum annum* L. upon Infection with *Colletotrichum capsici* (Syd.) Butler & Bisby. *Biomolecules*, 10(1), 41. <https://doi.org/10.3390/biom10010041>
- Pal, K. K., & Gardener, B. M. (2006). Biological control of plant pathogens. *The Plant Health Instructor*. <https://doi.org/10.1094/phi-a-2006-1117-02>
- Pant, P., Negi, A., Rawat, J., & Kumar, R. (2024). Characterization of rhizospheric fungi and their in vitro antagonistic potential against myco-phytopathogens invading *Macrotyloma uniflorum* plants. *International Microbiology*, 28(S1), 91–109. <https://doi.org/10.1007/s10123-024-00520-y>
- Pant, P., Negi, A., Rawat, J., & Kumar, R. (2024). Characterization of rhizospheric fungi and their in vitro antagonistic potential against myco-phytopathogens invading *Macrotyloma uniflorum* plants. *International Microbiology*, 28(S1), 91–109. <https://doi.org/10.1007/s10123-024-00520-y>
- Pellan, L., Dieye, C. a. T., Durand, N., Fontana, A., Strub, C., & Schorr-Galindo, S. (2021). Biokontrol Agents: Toolbox for the Screening of Weapons against Mycotoxigenic *Fusarium*. *Journal of Fungi*, 7(6), 446. <https://doi.org/10.3390/jof7060446>
- Qi, Y., Ossowicki, A., Yergeau, É., Vigani, G., Geissen, V., & Garbeva, P. (2022). Plastic mulch film residues in agriculture: impact on soil suppressiveness, plant growth, and microbial communities. *FEMS Microbiology Ecology*, 98(2). <https://doi.org/10.1093/femsec/fiac017>
- Rahman, S. M. M., Maniruzzaman, S. M., Nusrat, S., & Khair, A. (2015). In vitro Evaluation of Botanical Extract, Bioagents and Fungicides against Purple Blotch Diseases of Bunch Onion in Bangladesh. *Advances in Zoology and Botany*, 3(4), 179–183. <https://doi.org/10.13189/azb.2015.030403>

- Roca-Couso, R., Flores-Félix, J. D., & Rivas, R. (2021). Mechanisms of Action of Microbial Biokontrol Agents against *Botrytis cinerea*. *Journal of Fungi*, 7(12), 1045. <https://doi.org/10.3390/jof7121045>
- Santos, L. C. D., Azevedo, L. S., De Siqueira, E. P., Coimbra, M. C., Alves, S. N., Castro, A. H. F., & Lima, L. a. R. D. S. (2025). Larvicidal Activity of Phytochemicals From *Handroanthus impetiginosus* Seeds Against *Culex quinquefasciatus*. *Chemistry & Biodiversity*, 22(12), e01126. <https://doi.org/10.1002/cbdv.202501126>
- Shiade, S. R. G., Zand-Silakhoor, A., Fathi, A., Rahimi, R., Minkina, T., Rajput, V. D., Zulfiqar, U., & Chaudhary, T. (2024). Plant metabolites and signaling pathways in response to biotic and abiotic stresses: Exploring bio stimulant applications. *Plant Stress*, 12, 100454. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100454>
- Shukla, P. S., Borza, T., Critchley, A. T., & Prithviraj, B. (2021). Seaweed-Based Compounds and Products for Sustainable Protection against Plant Patogens. *Marine Drugs*, 19(2), 59. <https://doi.org/10.3390/md19020059>
- Spadaro, D., & Droby, S. (2015). Development of biokontrol products for postharvest diseases of fruit: The importance of elucidating the mechanisms of action of yeast antagonists. *Trends in Food Science & Technology*, 47, 39–49. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.11.003>
- Srivastava, D. A., Harris, R., Breuer, G., & Levy, M. (2021). Secretion-Based Modes of Action of Biokontrol Agents with a Focus on *Pseudozyma aphidis*. *Plants*, 10(2), 210. <https://doi.org/10.3390/plants10020210>
- Stenberg, J. A., Sundh, I., Becher, P. G., Björkman, C., Dubey, M., Egan, P. A., Friberg, H., Gil, J. F., Jensen, D. F., Jonsson, M., Karlsson, M., Khalil, S., Ninkovic, V., Rehmann, G., Vetukuri, R. R., & Viketoft, M. (2021). When is it biological kontrol? A framework of definitions, mechanisms, and classifications. *Journal of Pest Science*, 94(3), 665–676. <https://doi.org/10.1007/s10340-021-01354-7>
- Tian, L., Zhu, X., Guo, Y., Zhou, Q., Wang, L., & Li, W. (2024). Antagonism of rhizosphere *Trichoderma brevicompactum* DTN19 against the pathogenic fungi causing corm rot in saffron (*Crocus sativus* L.) in vitro. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1454670. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1454670>
- Upadhyay, R., Saini, R., Shukla, P. K., & Tiwari, K. N. (2024). Role of secondary metabolites in plant defense mechanisms: a molecular and biotechnological insights. *Phytochemistry Reviews*, 24(1), 953–983. <https://doi.org/10.1007/s11101-024-09976-2>
- Wan, P., Zhang, N., Li, Y., Li, S., Li, F., Cui, Z., & Zhang, F. (2022). Reducing plant pathogens could increase crop yields after plastic film mulching. *The Science of the Total Environment*, 861, 160615. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160615>
- Wang, H., Guo, Q., Li, X., Yang, T., Su, Z., Zhang, H., & Zhang, C. (2020). Effects of long-term no-tillage with different straw mulching frequencies on soil microbial community and the abundances of two soil-borne pathogens. *Applied Soil Ecology*, 148, 103488. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.103488>
- Wang, Y., Liu, L., Luo, Y., Awasthi, M. K., Yang, J., Duan, Y., Li, H., & Zhao, Z. (2020a). Mulching practices alter the bacterial-fungal community and network in favor of soil quality in a semiarid orchard system. *The Science of the Total Environment*, 725, 138527. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138527>
- Wang, Y., Liu, L., Luo, Y., Awasthi, M. K., Yang, J., Duan, Y., Li, H., & Zhao, Z. (2020b). Mulching practices alter the bacterial-fungal community and network in favor of soil quality in a semiarid orchard system. *The Science of the Total Environment*, 725, 138527. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138527>
- Wu, C., Ma, Y., Ma, Y., Wang, D., Shan, Y., Song, X., Hu, H., Ren, X., Ma, X., Cui, J.,

- Ma, Y., & Ma, Y. (2021). Integrated microbiology and metabolomics analysis reveal plastic mulch film residue affects soil microorganisms and their metabolic functions. *Journal of Hazardous Materials*, 423(Pt B), 127258. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127258>
- Zehnder, G., Gurr, G. M., Kühne, S., Wade, M. R., Wratten, S. D., & Wyss, E. (2006). Arthropod pest management in organic crops. *Annual Review of Entomology*, 52(1), 57–80. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.52.110405.091337>

LAMPIRAN

Tabel 3.1. Rata-rata Kelompok Telur *S. Exigua* pada **pada** Perlakuan Kombinasi (Kompos + Mulsa Jerami + Macbio + Cendawan Antagonis)

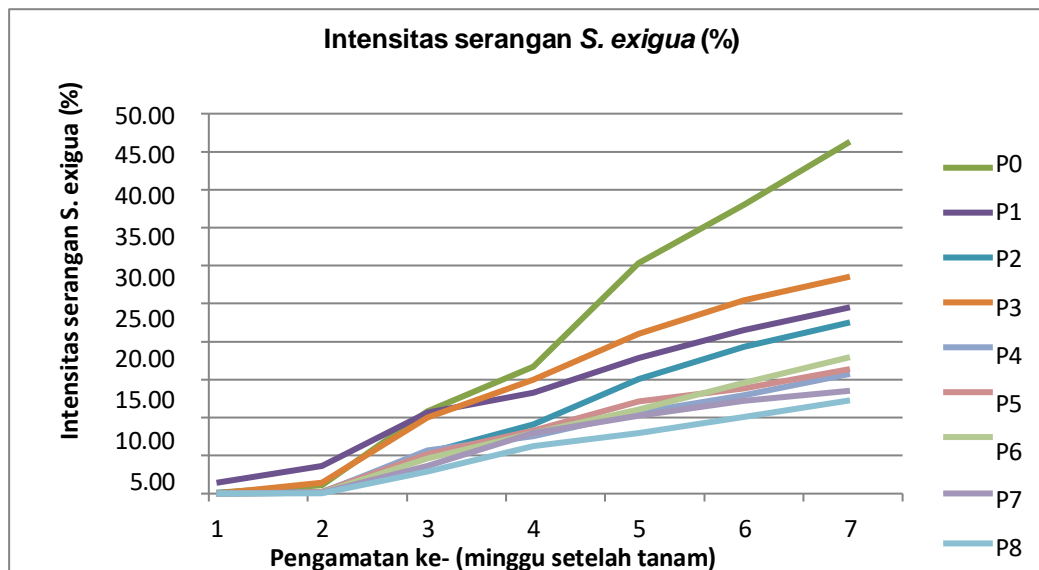
Perlakuan	Pengamatan ke- (MST)						
	1	2	3	4	5	6	7
P0	0,82 ^a	0,74 ^b	0,73 ^a	0,73 ^a	0,74 ^a	0,76 ^a	0,76 ^a
P1	0,84 ^a	0,73 ^b	0,71 ^a	0,72 ^a	0,72 ^a	0,74 ^a	0,73 ^a
P2	0,85 ^a	0,78 ^a	0,71 ^a	0,71 ^a	0,73 ^a	0,73 ^a	0,73 ^a
P3	0,71 ^b	0,74 ^b	0,74 ^a	0,74 ^a	0,71 ^a	0,76 ^a	0,76 ^a
P4	0,73 ^b	0,76 ^a	0,71 ^a	0,71 ^a	0,72 ^a	0,71 ^a	0,71 ^a
P5	0,74 ^b	0,72 ^b	0,72 ^a	0,71 ^a	0,74 ^a	0,72 ^a	0,71 ^a
P6	0,73 ^b	0,74 ^b	0,72 ^a	0,71 ^a	0,73 ^a	0,73 ^a	0,75 ^a
P7	0,74 ^b	0,74 ^b	0,71 ^a	0,71 ^a	0,73 ^a	0,73 ^a	0,72 ^a
P8	0,73 ^b	0,71 ^b	0,71 ^a	0,71 ^a	0,77 ^a	0,72 ^a	0,71 ^a
NP BNT	0,06	0,04	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05

Keterangan : P0 = Kontrol; P1 =Antagonis; P2= Kompos + Antagonis; P3 =Kompos + Mulsa + Antagonis; P4 = Kompos + Mulsa + MacBio7; P5=Kompos + Mulsa + MacBio7 + Antagonis; P6 = Kompos + Mulsa + MacBio3; P7= Kompos + Mulsa + MacBio3 + Antagonis; P8 = Perlakuan Petani.

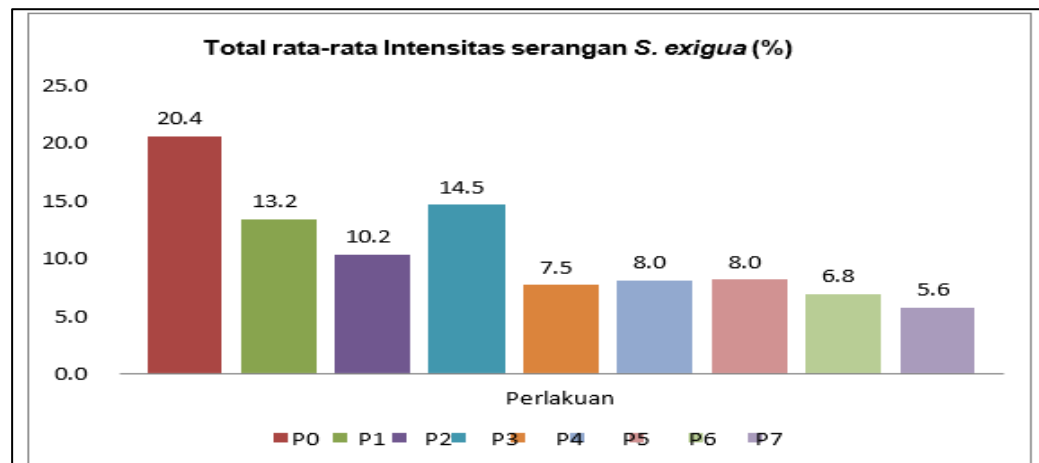
Tabel 3.2. Rata-rata Populasi Larva *S. exigua* **pada** Perlakuan Kombinasi (Kompos + Mulsa Jerami + Macbio + Cendawan Antagonis)

Perlakuan	Pengamatan ke- (MST)						
	1	2	3	4	5	6	7
P0	0,71 ^a	1,10 ^a	1,13 ^a	0,89 ^a	0,95 ^a	1,00 ^a	0,96 ^a
P1	0,71 ^a	0,88 ^a	1,02 ^a	0,91 ^a	0,96 ^a	0,91 ^a	0,90 ^a
P2	0,71 ^a	0,84 ^a	0,88 ^a	0,99 ^a	0,93 ^a	0,97 ^a	1,00 ^a
P3	0,71 ^a	0,85 ^a	0,92 ^a	0,89 ^a	0,92 ^a	0,93 ^a	0,91 ^a
P4	0,71 ^a	0,85 ^a	0,88 ^a	0,83 ^a	0,92 ^a	0,87 ^a	0,82 ^a
P5	0,71 ^a	0,77 ^a	0,90 ^a	0,81 ^a	1,02 ^a	0,78 ^a	0,80 ^a
P6	0,71 ^a	0,84 ^a	0,88 ^a	0,81 ^a	0,88 ^a	0,83 ^a	0,84 ^a
P7	0,71 ^a	0,80 ^a	0,83 ^a	0,85 ^a	0,97 ^a	0,78 ^a	0,79 ^a
P8	0,73 ^a	0,74 ^a	0,86 ^a	0,88 ^a	0,95 ^a	0,90 ^a	0,93 ^a
NP BNT	0,02	0,24	0,19	0,22	0,24	0,18	0,17

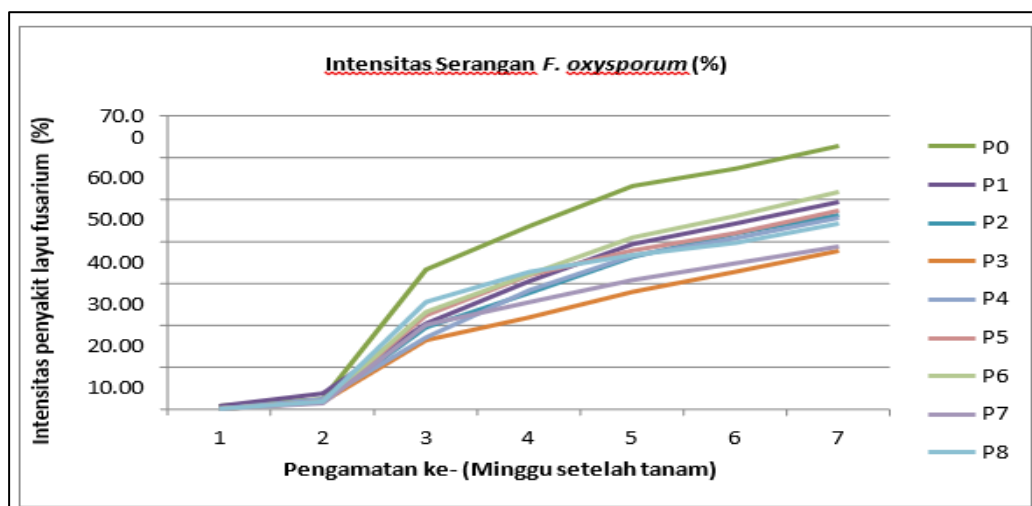
Keterangan : P0 = Kontrol; P1 =Antagonis; P2= Kompos + Antagonis; P3 =Kompos + Mulsa + Antagonis; P4 = Kompos + Mulsa + MacBio7; P5=Kompos + Mulsa + MacBio7 + Antagonis; P6 = Kompos + Mulsa + MacBio3; P7= Kompos + Mulsa + MacBio3 + Antagonis; P8 = Perlakuan Petani.



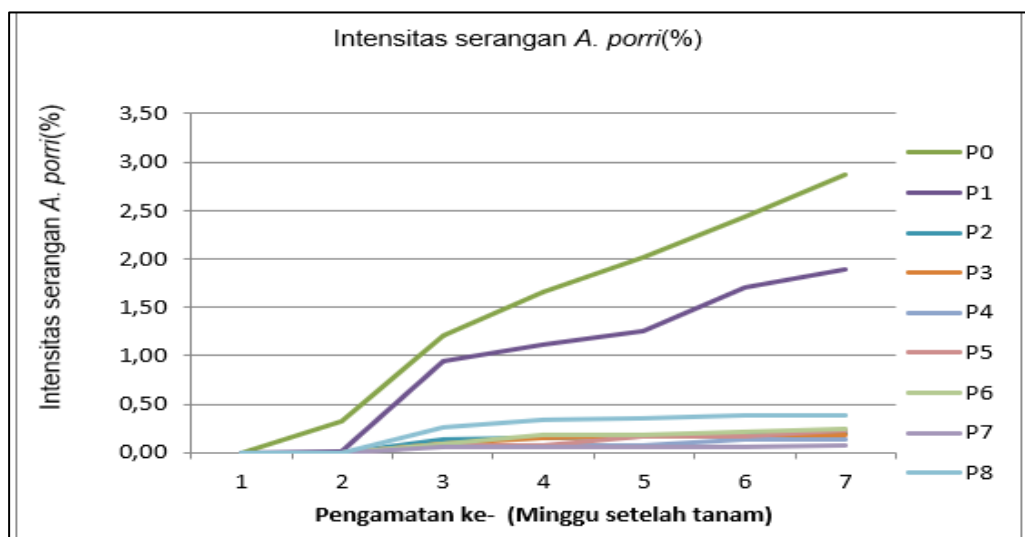
Gambar 3.1. Grafik Fluktuasi Intensitas serangan *S. exigua* pada Perlakuan Kombinasi (Kompos + Mulsa Jerami + Macbio + Cendawan Antagoni). Keterangan : P0 = Kontrol; P1 =Antagonis; P2= Kompos + Antagonis; P3 =Kompos + Mulsa + Antagonis; P4 = Kompos + Mulsa + MacBio7; P5=Kompos + Mulsa + MacBio7 + Antagonis; P6 = Kompos + Mulsa + MacBio3; P7= Kompos + Mulsa + MacBio3 + Antagonis; P8 = Perlakuan Petani.



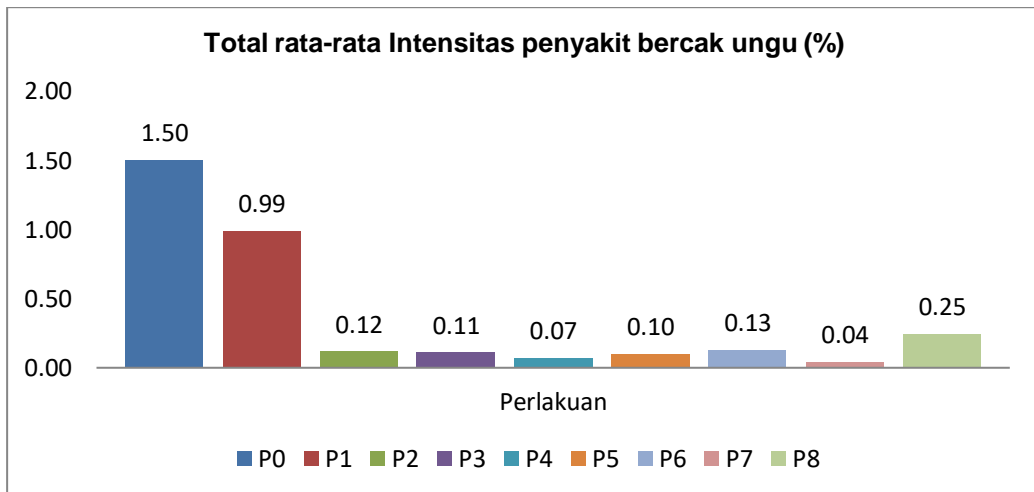
Gambar 3.2. Diagram Rata-rata Intensitas serangan *S. exigua*. Keterangan: P0 = Kontrol; P1 =Antagonis; P2= Kompos + Antagonis; P3 =Kompos + Mulsa + Antagonis; P4 = Kompos + Mulsa + MacBio7; P5=Kompos + Mulsa + MacBio7 + Antagonis; P6 = Kompos + Mulsa + MacBio3; P7= Kompos + Mulsa + MacBio3 + Antagonis; P8 = Perlakuan Petani



Gambar 3.3 Grafik rata-rata Intensitas serangan *F. oxysporum* pada Perlakuan Kombinasi (Kompos + Mulsa Jerami + Macbio + Cendawan Antagoni). Keterangan : P0 = Kontrol; P1 =Antagonis; P2= Kompos + Antagonis; P3 =Kompos + Mulsa + Antagonis; P4 = Kompos + Mulsa + MacBio7; P5=Kompos + Mulsa + MacBio7 + Antagonis; P6 = Kompos + Mulsa + MacBio3; P7= Kompos + Mulsa + MacBio3 + Antagonis; P8 = Perlakuan Petani.



Gambar 3.4 Grafik rata-rata Intensitas serangan *A. porri* pada Perlakuan Kombinasi (Kompos + Mulsa Jerami + Macbio + Cendawan Antagoni) Keterangan : P0 = Kontrol; P1 =Antagonis; P2= Kompos + Antagonis; P3 =Kompos + Mulsa + Antagonis; P4 = Kompos + Mulsa + MacBio7; P5=Kompos + Mulsa + MacBio7 + Antagonis; P6 = Kompos + Mulsa + MacBio3; P7= Kompos + Mulsa + MacBio3 + Antagonis; P8 = Perlakuan Petani.



Gambar 3.5 Diagram rata-rata intensitas serangan *A. porri*. Keterangan : P0 = Kontrol; P1 =Antagonis; P2= Kompos + Antagonis; P3 =Kompos + Mulsa + Antagonis; P4 = Kompos + Mulsa + MacBio7; P5=Kompos + Mulsa + MacBio7 + Antagonis; P6 = Kompos + Mulsa + MacBio3; P7= Kompos + Mulsa + MacBio3 + Antagonis; P8 = Perlakuan Petani.

BAB IV
EFEKTIVITAS KOMBINASI EKSTRAK TUMBUHAN (MACBIO)
DAN MULSA DALAM MENGENDALIKAN
S. EXIGUA PADA TANAMAN BAWANG MERAH

ABSTRAK

Latar Belakang. *S. exigua* merupakan hama penting pada tanaman bawang merah, yang dapat menyebabkan kehilangan hasil hingga 100%. Alternatif pengendalian yang dapat mengurangi serangan *S. exigua* adalah formulasi ekstrak tumbuhan dan mulsa. **Tujuan.** Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh formulasi ekstrak tumbuhan yang mengandung *C. cujete* dan *C. gigantea* yang dikombinasikan dengan mulsa jerami terhadap *S. exigua* pada tanaman bawang merah. **Metode.** Penelitian ini menggunakan RAK dengan enam perlakuan dan empat ulangan. Perlakuan terdiri dari kontrol: perlakuan petani; aplikasi ekstrak tumbuhan dengan interval tiga aplikasi dengan kombinasi mulsa; aplikasi ekstrak tumbuhan dengan interval tujuh aplikasi dengan kombinasi mulsa; dan aplikasi ekstrak tumbuhan saja dengan tiga dan tujuh aplikasi ekstrak. **Hasil** penelitian menunjukkan bahwa aplikasi ekstrak tumbuhan yang dikombinasikan dengan mulsa jerami dapat mengurangi pembentukan telur sebesar 74% hingga 84%, mengurangi populasi larva sebesar 60% hingga 72%, dan mengurangi intensitas serangan *S. exigua* sebesar 66% hingga 79%. **Kesimpulan.** Aplikasi ekstrak tumbuhan yang dikombinasikan dengan mulsa meningkatkan keberadaan musuh alami dibandingkan dengan perlakuan petani. Metode petani menggunakan insektisida sintesis sama efektifnya dengan penggunaan aplikasi ekstrak tanaman yang dikombinasikan dengan penggunaan mulsa.

Kata Kunci: *C. cujete*, *C. gigantea*, *S. exigua*, Mulsa, Musuh Alami, Ekstra Tumbuhan.

4.1. Pendahuluan

S. exigua (Lepidoptera: Noctuidae) adalah salah satu hama utama yang menyerang beberapa tanaman dan bersifat polifag (Hussein dkk. 2023; Rabelo dkk. 2022) Tumbuh subur di iklim tropis dan subtropic (Rajesh Chowdary dkk. 2024), menyebabkan kerugian yang signifikan dan menjadi masalah besar, karena dapat menyebabkan penurunan hasil panen bawang merah yang signifikan di Indonesia, termasuk daerah penghasil bawang merah yang signifikan di Sulawesi Selatan. *S.exigua* berasal dari Asia Tenggara dan telah menyebabkan kerugian ekonomi yang parah di berbagai negara. (Hsue 1989) dan telah menyebar luas di beberapa negara di Asia, Afrika, Amerika Utara, Amerika Tengah, dan Karibia (CABI 2019).

Larva *S. exigua* menyebabkan kerusakan dengan memakan jaringan tanaman dari dalam, meninggalkan lapisan epidermis yang tampak seperti bintik-bintik transparan. Investasi parah hama ini dapat menyebabkan kehilangan hasil hingga 100% jika tidak ada tindakan pengendalian. Marsadi dkk. (2017) mengungkapkan metode pengendalian yang paling umum adalah insektisida sintetis, yang telah menyebabkan resistensi. Di negara Amerika Serikat, resistensi ulat grayak terhadap insektisida klorantraniliprol dan bifentrin pertama kali dilaporkan pada tahun 2020 (Rabelo dkk., 2022). Selain resisten, penggunaan insektisida juga dapat merugikan petani karena dapat menyebabkan keracunan hingga kematian (Kishi, dkk., 1995), serta mengganggu ekosistem, atau mencemari lingkungan, meninggalkan residu pada tanaman maupun bahan olahan, dan dapat menyebabkan kematian pada manusia (Dhiaswari, 2019). Salah satu alternatif untuk mengurangi dampak insektisida sintetis adalah dengan menggunakan produk tumbuhan alami berupa ekstrak tumbuhan yang dapat terurai secara hayati sehingga tidak mencemari lingkungan dan relatif aman bagi manusia dan lingkungan. Produk tumbuhan alami dalam ekstrak tumbuhan dapat bertindak sebagai penolak, racun, dan ovisidal terhadap hama serangga, mencegah aktivitas makan dan menghambat pertumbuhan serta perkembangan. Diketahui bahwa dua jenis tumbuhan yang berpotensi dikembangkan dalam pembuatan pestisida alami adalah tanaman *C. gigantea* dan *C.cujete* (Sjam dkk. 2023). Ekstrak tumbuhan sebagai pestisida alami dibuat dalam formulasi yang mengandung *C.cujete* dan *C. gigantea* dan dikombinasikan dengan mulsa jerami untuk mengendalikan hama *S. exigua* pada tanaman bawang merah

C. cujete mengandung senyawa metabolit sekunder seperti saponin, flavonoid, dan tanin (Aprialty dkk., 2021). Senyawa aktif dalam buah maja berperan dalam menyebabkan kematian larva. Ekstrak daun *Aegle marmelos* dapat menyebabkan kematian larva *Spodoptera litura* (Wulandari, 2017). *C. gigantea* mengandung senyawa

metabolit sekunder yaitu fenol, flavonoid, alkaloid, tanin, saponin, glikosida, fitosterol, dan kardenolida yang dapat menekan populasi beberapa hama pada tanaman padi dan efektif mengendalikan populasi dan intensitas serangan hama *S. innotata* dan *L. acuta*. (Palayukan dkk. 2021) dan mempengaruhi aktivitas makan dan tingkat mortalitas larva *S. exigua* (Shahabuddin, 2002). Aplikasi MacBio dengan frekuensi aplikasi setiap 10 hari menunjukkan populasi *S. frugiperda* yang rendah pada tanaman jagung (Syamsir, 2022). Selain menggunakan ekstrak tanaman, mulsa diketahui dapat digunakan dalam mengurangi populasi *S. exigua* (Pasigai dan Paiman 2023; Rezki dkk. 2025)

Mulsa organik dari jerami padi dan aplikasi ekstrak tumbuhan sebagai insektisida alami diharapkan dapat mengurangi populasi *S. exigua*. Penggunaan mulsa jerami dapat mengurangi populasi hama karena dapat menjadi konservasi musuh alami. Lagipula, mulsa jerami padi dapat menyebabkan peningkatan kelimpahan artropoda predator hama serangga pada tanaman bawang merah, terutama artropoda predator kelompok laba-laba dan semut. (Nasir dkk., 2020). Penelitian yang dilakukan oleh Rahim (2019) menunjukkan bahwa penggunaan mulsa jerami padi dapat menurunkan intensitas serangan hama *S. exigua* sebesar 20,83%. Berdasarkan hal tersebut, perlu dilakukan penelitian dan pengkajian lebih lanjut tentang pengaruh penggunaan interval pemberian mulsa jerami padi dan ekstrak tanaman dalam mengendalikan hama *S. exigua* pada tanaman bawang merah.

4.2. Metode Penelitian

4.2.1 Desain eksperimental

Penelitian ini dilakukan di Dusun Sipate, Desa Pekalobean, Kecamatan Anggeraja, Kabupaten Enrekang, Sulawesi Selatan. Percobaan lapangan menggunakan RAK dengan enam perlakuan, masing-masing diulang empat kali. Perlakuan tersebut terdiri dari kontrol (PO), perlakuan petani (P1), mulsa, dan Interval pemberian ekstrak tanaman per 3 hari (P2) mulsa dan Interval pemberian ekstrak tanaman per 7 hari (P3), tanpa mulsa + Interval pemberian ekstrak tanaman per 3 hari (P4), dan perlakuan tanpa mulsa + Interval pemberian ekstrak tanaman per 7 hari (P5).

4.2.2 Pelaksanaan

4.2.2.1 Persiapan Lahan

Persiapan lahan dilakukan dengan membersihkan lahan dari sampah, gulma, dan sisa tanaman. Lahan diolah dengan membajak menggunakan traktor untuk menggemburkan tanah. Selanjutnya, dibuat 24 bedengan berukuran 3 m x 1,2 m. Setiap bedengan diberi pupuk esensial, dan sebagian diberi mulsa sesuai perlakuan. Mulsa yang

digunakan adalah mulsa organik dari jerami padi. Pemasangan mulsa dilakukan dengan menyebarkan jerami di atas bedengan sesuai perlakuan.

4.2.2.2 Penanaman tanaman bawang merah

Bibit bawang merah yang digunakan adalah benih varietas tajak. Bibit diiris di bagian atas atau di tempat tunas muncul untuk mempercepat dan menghomogenkan pertumbuhan. Penanaman dilakukan tujuh hari setelah pengolahan tanah. Bibit bawang merah yang telah dipotong ditanam dengan jarak 20 cm × 20 cm. Bibit ditanam melingkar dan tidak terlalu dalam. Setiap petak perlakuan berisi 90 tanaman bawang merah.

4.2.2.3 Aplikasi MacBio

Formulasi ekstrak tumbuhan yang digunakan dalam penelitian ini adalah campuran *C. cujete* dan *C. gigantea* yang diambil dari stok Laboratorium Bahan Alam dan Pestisida, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin. Konsentrasi yang digunakan adalah 5% (Palayukan dkk., 2021). Penyemprotan dilakukan saat tanaman berumur 7 HST. Penyemprotan dilakukan pada pagi hari di bagian bawah daun. Penyemprotan dilakukan secara berkala setiap 3 dan 7 hari sesuai dengan perlakuan. Pada perlakuan petani, aplikasi insektisida kimia sintetis dilakukan oleh petani pada umur 7 HST dengan interval aplikasi setiap 3 hari.

4.2.2.4 Pengamatan

Pada setiap plot, terdapat 90 rumpun tanaman, dan sampel yang diambil adalah 10% dari total populasi tanaman. Sampel tanaman yang diamati pada setiap plot berjumlah sembilan rumpun yang diambil secara diagonal. Pengamatan populasi dilakukan pada pagi hari. Pengamatan populasi dan intensitas serangan *S. exigua* serta musuh alami dilakukan setiap minggu selama tujuh minggu.

Pengamatan populasi *S. exigua* dilakukan secara visual (langsung) pada sembilan sampel bergerak dengan menghitung jumlah kelompok telur dan larva pada setiap tanaman sampel. Pengamatan populasi larva dilakukan dengan membelah daun bawang yang bergejala. Untuk menghitung rata-rata kelompok telur dan populasi larva, rumus dari Paparang et al. (2016) digunakan sebagai berikut:

$$\text{Larval population level } P = \frac{n}{N}$$

Keterangan:

P = Populasi Hama

n = Jumlah telur/larva yang ditemukan pada semua tanaman

N = Jumlah tanaman yang diamati

Intensitas serangan diamati pada sembilan sampel tanaman tetap yang diambil secara diagonal. Pengamatan dilakukan dengan menghitung langsung skor kerusakan pada setiap daun pada sampel tanaman. Rumus untuk menghitung intensitas serangan menurut Hanafiah (2010) adalah sebagai berikut:

Tingkat intensitas serangan $I = \frac{\sum(n_i.v_i)}{N.Z} \times 100\%$

Keterangan:

I = intensitas serangan (%)

n_i = Jumlah daun yang terserang pada skala serangan tertentu

v_i = Nilai skala untuk setiap kategori serangan

Z = Skala kategori serangan tertinggi

N = Jumlah daun yang diamati

Penilaian gejala serangan hama mengacu pada (Moekasan dkk. 2005) sebagai berikut:

0 = tidak ada gejala serangan

1 = gejala serangan 1-20%

2 = gejala serangan 21-40%

3 = gejala serangan 41-60%

4 = gejala serangan 61-80%

5 = gejala serangan 81-100%

4.2.3 Analisis Statistik

Hasil pengamatan dianalisis menggunakan metode ANOVA. Jika perlakuan memengaruhi hasil analisis, dilakukan uji lanjutan menggunakan uji Beda Nyata Terkecil (BNT) dengan taraf 5%.

4.3. Hasil dan Pembahasan

4.3.1 Hasil

4.3.1.1 Pengaruh Perlakuan Kombinasi (MacBio + Mulsa Jerami) terhadap Populasi Kelompok Telur *S. exigua*

Populasi kelompok telur *S. exigua* menunjukkan hasil yang berbeda pada setiap perlakuan, seperti terlihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1. Rata-rata kelompok Telur *S. exigua* pada Perlakuan Kombinasi (MacBio + Mulsa Jerami)

WAKTU PENGAMATAN	PERLAKUAN						Tingkat LSD 5%
	P0	P1	P2	P3	P4	P5	
1 MST	0,19a	0,05ab	0,00b	0,00b	0,14ab	0,19a	0,16
2 MST	0,02	0	0,03	0,08	0,02	0,05	0,1
3 MST	0,02	0	0,05	0	0	0,02	0,06
4 MST	0,08a	0,00b	0,00b	0,00b	0,00b	0,00b	0,06
5 MST	0,08	0,08	0,05	0	0,08	0,02	0,08
6 MST	0,05a	0,03a	0,00b	0,00b	0,02a	0,08a	0,07
7 MST	0,05a	0,00b	0,00b	0,00b	0,00b	0,00b	0,03

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang tidak sama pada baris yang sama menunjukkan hasil yang berbeda nyata pada tingkat kepercayaan 5%, uji lanjut LSD. Keterangan: P0 = Kontrol; P1 = Perlakuan Petani; P2 = Mulsa + Ekstrak3; P3 = Mulsa + Ekstrak7; P4=Tanpa Mulsa + Ekstrak3; P5 = Tanpa Mulsa + Ekstrak7

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semua perlakuan ditemukan kelompok telur *S. exigua* pada setiap pengamatan. Perlakuan pemberian ekstrak tumbuhan dan mulsa memberikan hasil yang berbeda nyata pada minggu ke-1, ke-4, ke-6, dan ke-7. Pada pengamatan 1 MST, 4 MST, dan ke-7 MST, kelompok telur paling sedikit ditemukan pada P2 dan P3. Perlakuan pemberian ekstrak tumbuhan dan mulsa tidak berbeda nyata dengan perlakuan P1, tetapi berbeda nyata dengan P0. Perlakuan P3 menunjukkan rata-rata kelompok telur terendah dengan persentase penurunan sebesar 84% jika dibandingkan dengan perlakuan kontrol, kemudian perlakuan P2 dengan persentase penurunan sebesar 74%, dan perlakuan P1 dengan persentase penurunan sebesar 68% (tabel 4.1. dan tabel 4.2.)

Tabel 4.2. Jumlah dan Persentase Pengurangan Kelompok Telur *S. Exigua* pada Perlakuan Kombinasi (MacBio + Mulsa Jerami)

Perlakuan	Jumlah Kelompok Telur	Selisih dengan P0	Pengurangan kelompok Telur (%)
P0	0,52a		
P1	0,17b	0,36	68
P2	0,14b	0,39	74
P3	0,08b	0,44	84
P4	0,28b	0,24	47
P5	0,39a	0,135	26

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang tidak sama pada kolom yang sama menunjukkan hasil yang berbeda nyata pada tingkat kepercayaan 5%, uji lanjut LSD. Keterangan: P0 = Kontrol; P1 = Perlakuan Petani; P2 = Mulsa + Ekstrak3; P3 = Mulsa + Ekstrak7; P4=Tanpa Mulsa + Ekstrak3; P5 = Tanpa Mulsa + Ekstrak7.

4.3.1.2 Pengaruh Perlakuan Kombinasi (MacBio + Mulsa Jerami) terhadap Populasi Kelompok Larva *S. exigua*

Populasi larva *S. exigua* menunjukkan hasil yang berbeda pada setiap perlakuan, seperti terlihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Rata-rata Populasi Larva *S. exigua* pada Perlakuan Kombinasi (MacBio + Mulsa Jerami)

WAKTU PENGAMATAN	PERLAKUAN						Tingkat LSD 5%
	P0	P1	P2	P3	P4	P5	
1 MST	0	0	0	0	0	0	0
2 MST	1,44a	0,22b	0,00b	0,38b	0,00b	0,41b	0,98
3 MST	0,63a	0,02b	0,24a	0,38a	0,52a	0,49a	0,4
4 MST	0,22	0,27	0,08	0,3	0,24	0,16	0,24
5 MST	0,58a	0,50ab	0,33ab	0,16b	0,30b	0,36ab	0,25
6 MST	0,58a	0,33ab	0,19b	0,24b	0,36ab	0,41ab	0,29
7 MST	0,61a	0,41ab	0,24b	0,08b	0,30ab	0,22c	0,33

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang tidak sama pada baris yang sama menunjukkan hasil yang berbeda nyata pada tingkat kepercayaan 5% uji LSD lebih lanjut. Keterangan: P0 = Kontrol; P1 = Perlakuan Petani; P2 = Mulsa + Ekstrak3; P3 = Mulsa + Ekstrak7; P4=Tanpa Mulsa + Ekstrak3; P5 = Tanpa Mulsa + Ekstrak7

Pengamatan rata-rata populasi larva menunjukkan bahwa perlakuan aplikasi ekstrak tumbuhan dan penggunaan mulsa menunjukkan perbedaan yang signifikan pada pengamatan 2 MST, 3 MST, 5 MST, 6 MST, dan 7 MST (Tabel 4.3).

Tabel 4.4. Persentase Penurunan Populasi Larva *S. exigua* pada Perlakuan Kombinasi (MacBio + Mulsa Jerami)

Perlakuan	Jumlah populasi Larva <i>S. exigua</i>	Selisih dengan P0	Penurunan populasi Larva <i>S. exigua</i> (%)
P0	4,06		
P1	1,78	2,28	56
P2	1,12	2,94	72
P3	1,61	2,45	60
P4	1,75	2,31	57
P5	2,15	1,91	47

Keterangan: P0 = Kontrol; P1 = Perlakuan Petani; P2 = Mulsa + Ekstrak3; P3 = Mulsa + Ekstrak7; P4= Tanpa Mulsa + Ekstrak3; P5 = Tanpa Mulsa + Ekstrak7

Perlakuan ekstrak tumbuhan, baik tanpa mulsa maupun dengan mulsa, berpengaruh nyata terhadap populasi larva. Populasi larva terendah terdapat pada perlakuan P2 dengan persentase penurunan sebesar 72%, kemudian pada perlakuan P3 dengan persentase penurunan populasi larva sebesar 60%, dan pada perlakuan P1 dengan persentase penurunan sebesar 56% (tabel 4.4.)

4.3.1.4 Pengaruh Perlakuan Kombinasi (MacBio + Mulsa Jerami) terhadap Intensitas serangan *S. exigua*

Intensitas serangan larva *S. exigua* selama periode pengamatan disajikan pada tabel 4.5 dan tabel 4.6.

Tabel 4.5. Rata-rata Intensitas serangan *S. exigua* pada Perlakuan Kombinasi (MacBio + Mulsa Jerami)

WAKTU PENGAMATAN	PERLAKUAN						Tingkat LSD 5%
	P0	P1	P2	P3	P4	P5	
1 MST	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a	0
2 MST	2,39 ^a	0,00 ^c	0,00 ^c	0,00 ^c	0,69 ^c	0,17 ^c	0,43
3 MST	11,83 ^a	1,83 ^c	2,11 ^b	4,72 ^b	10,44 ^a	10,89 ^a	2,88
4 MST	19,78 ^a	5,06 ^c	4,39 ^c	10,61 ^{bc}	12,67 ^{bc}	13,50 ^b	3,35
5 MST	35,33 ^a	7,00 ^c	7,83 ^c	10,67 ^c	17,6 ^b	20,61 ^b	5,79
6 MST	44,39 ^a	8,50 ^d	9,39 ^d	14,1 ^{cd}	18,39 ^c	24,44 ^b	5,27
7 MST	51,67 ^a	10,61 ^e	10,33 ^e	15,72 ^d	23,33 ^c	30,06 ^b	4,45

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang tidak sama pada baris yang sama menunjukkan hasil yang berbeda nyata pada tingkat kepercayaan 5%, uji lanjut LSD. P0 = Kontrol; P1 = Perlakuan Petani; P2 = Mulsa + Ekstrak3; P3 = Mulsa + Ekstrak7; P4= Tanpa Mulsa + Ekstrak3; P5 = Tanpa Mulsa + Ekstrak7

Hasil pengamatan rata-rata intensitas serangan larva disajikan pada Tabel 4.3, yang menunjukkan bahwa perlakuan pemberian ekstrak tanaman dan penggunaan mulsa memberikan hasil yang berbeda nyata pada semua pengamatan kecuali pada 1 MST. Pada pengamatan 2 minggu setelah tanam, perlakuan dengan populasi larva terendah adalah P1, P2 dan P3, yang berbeda nyata dengan P0 (kontrol). Pada pengamatan 4 minggu setelah tanam dan 7 minggu setelah tanam, intensitas serangan terendah ada pada perlakuan P2, yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan P1. Pada pengamatan 5 minggu setelah tanam dan 6 minggu setelah tanam, perlakuan P1 menunjukkan intensitas serangan terendah, yang tidak berbeda nyata dengan P2.

Tabel 4.6. Persentase Penurunan Intensitas Serangan Larva *S. exigua* pada Perlakuan Kombinasi (MacBio + Mulsa Jerami)

Perlakuan	Jumlah intensitas serangan <i>S. exigua</i>	Selisih dengan P0	Penurunan intensitas serangan <i>S. exigua</i> (%)
P0	165,39		
P1	33,00	132,39	80,05
P2	34,05	131,34	79,41
P3	55,82	109,57	66,25
P4	83,12	82,27	49,74
P5	99,67	65,72	39,74

Keterangan: P0 = Kontrol; P1 = Perlakuan Petani; P2 = Mulsa + Ekstrak3; P3 = Mulsa + Ekstrak7; P4= Tanpa Mulsa + Ekstrak3; P5 = Tanpa Mulsa + Ekstrak7

Tabel 4.6 intensitas serangan larva selama 7 pengamatan. Perlakuan kontrol menunjukkan intensitas serangan larva tertinggi di semua pengamatan, sementara perlakuan dengan aplikasi ekstrak tumbuhan dan mulsa menunjukkan intensitas serangan yang lebih rendah. Tabel 4.6 menunjukkan jumlah intensitas serangan larva dari 7 pengamatan. Perlakuan dengan intensitas serangan larva terendah adalah perlakuan P1 dengan persentase penurunan sebesar 80,05% dibandingkan dengan perlakuan kontrol, kemudian perlakuan P2 dengan persentase penurunan sebesar 79,41%, dan perlakuan P3 dengan persentase penurunan sebesar 66,25%.

4.3.1.5 Pengaruh Aplikasi Kombinasi (MacBio + Mulsa Jerami) terhadap Populasi Predator Pada Pertanaman Bawang Merah

Pengaruh aplikasi kombinasi MacBio dan mulsa jerami terhadap populasi predator pada pertanaman bawang merah menunjukkan bahwa keberadaan serta dinamika populasi predator dapat dijadikan sebagai indikator penting dalam menilai kesehatan agroekosistem dan efektivitas strategi pengendalian hama yang diterapkan. Penerapan kombinasi tersebut diduga mampu menciptakan kondisi lingkungan yang lebih mendukung bagi keberlangsungan hidup dan aktivitas predator alami, sehingga berpotensi meningkatkan keseimbangan ekosistem pertanaman. Dengan demikian, pengamatan terhadap populasi predator tidak hanya memberikan gambaran mengenai dampak perlakuan terhadap organisme non-target, tetapi juga mencerminkan keberhasilan sistem pengendalian hama yang lebih ramah lingkungan. Hasil pengamatan dan analisis terkait pengaruh kombinasi perlakuan tersebut terhadap populasi predator pada pertanaman bawang merah disajikan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7. Jumlah rata-rata Populasi Musuh Alami pada Perlakuan Kombinasi (MacBio + Mulsa Jerami)

WAKTU PENGAMATAN	PERLAKUAN						Tingkat LSD 5%
	P0	P1	P2	P3	P4	P5	
1 MST	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a	0
2 MST	1,00 ^a	0,00 ^b	1,75 ^a	1,50 ^a	0,00 ^b	0,25 ^b	1,27
3 MST	3,75 ^b	2,50 ^b	8,75 ^a	5,00 ^b	3,00 ^b	3,75 ^b	2,87
4 MST	3,00 ^{cd}	2,75 ^d	14,25 ^a	4,00 ^{cd}	8,75 ^b	5,75 ^c	2,89
5 MST	3,50 ^c	3,50 ^c	13,50 ^a	7,75 ^b	5,00 ^{bc}	4,00 ^{bc}	3,76
6 MST	4,50 ^b	4,25 ^b	13,75 ^a	6,25 ^b	4,25 ^b	5,75 ^b	2,63
7 MST	3,50 ^c	4,75 ^c	15,25 ^a	10,25 ^b	8,00 ^{bc}	4,75 ^c	2,83

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang tidak sama pada baris yang sama menunjukkan hasil yang berbeda secara nyata pada tingkat kepercayaan 5% uji LSD lebih lanjut. P0 = Kontrol; P1 = Perlakuan Petani; P2 = Mulsa + Ekstrak3; P3 = Mulsa + Ekstrak7; P4=Tanpa Mulsa + Ekstrak3; P5 = Tanpa Mulsa + Ekstrak7

Hasil yang disajikan pada tabel 4.7 menunjukkan total populasi musuh alami yang diamati pada berbagai perlakuan dan interval waktu. Tabel 4.5 menyajikan rata-rata populasi setiap kelompok predator, sementara gambar 4.8 menggambarkan persentase komposisi setiap spesies predator yang tercatat selama penelitian.

Tabel 4.8. Rata-rata Populasi Predator pada Setiap Pengamatan

Perlakuan	Araneae	Paederus fudcipes	Solenopsiss invicta	Lasius niger	Coccinellidae	Dermaptera	Chilopoda	Total
P0	14	3	38	18	1	0	3	77
P1	11	4	35	18	1	1	1	71
P2	35	47	129	39	6	7	6	269
P3	21	16	75	18	3	4	2	139
P4	13	9	74	17	2	0	1	116
P5	12	8	57	16	2	2	0	97
Total	106	87	408	126	15	14	13	769
Rata-rata	17,67	14,5	68	21	2,5	2,33	2,17	
Persentase	14	11	53	16	2	2	2	100

Keterangan: P0 = Kontrol; P1 = Perlakuan Petani; P2 = Mulsa + Ekstrak3; P3 = Mulsa + Ekstrak7; P4=Tanpa Mulsa + Ekstrak3; P5 = Tanpa Mulsa + Ekstrak7. P0 = Kontrol; P1 = Perlakuan Petani; P2 = Mulsa + Ekstrak3; P3 = Mulsa + Ekstrak7; P4=Tanpa Mulsa + Ekstrak3; P5 = Tanpa Mulsa + Ekstrak7

Tabel 4.8. menyajikan jenis dan jumlah populasi predator selama tujuh pengamatan. Perlakuan P2 menunjukkan jumlah populasi predator tertinggi dibandingkan semua pengamatan, sementara perlakuan petani menunjukkan populasi predator terendah.

Tabel 4.9. Persentase Peningkatan Populasi Musuh Alami pada Perlakuan Kombinasi (MacBio + Mulsa Jerami)

Perlakuan	Jumlah Musuh alami	Selisih dengan P0	Peningkatan populasi musuh alami (%)
P0	77		
P1	71	-6	-8
P2	269	192	71
P3	139	62	45
P4	116	39	34
P5	97	20	21
Total	769	692	

Keterangan: P0 = Kontrol; P1 = Perlakuan Petani; P2 = Mulsa + Ekstrak3; P3 = Mulsa + Ekstrak7; P4=Tanpa Mulsa + Ekstrak3; P5 = Tanpa Mulsa + Ekstrak7

Tabel 4.9. menunjukkan persentase peningkatan dan penurunan populasi predator dari 7 pengamatan. Perlakuan dengan populasi predator terendah adalah perlakuan P1, dengan persentase penurunan sebesar 8% dibandingkan dengan perlakuan kontrol.

Perlakuan P2 menunjukkan peningkatan populasi predator sebesar 71%, P3 dengan persentase peningkatan sebesar 45%, dan P4 dengan persentase sebesar 34%.

4.3.2. Pembahasan

Aplikasi formulasi ekstrak tumbuhan dari *C. cujete* dan *C. gigantea* memengaruhi perilaku imago *S. exigua* dalam bertelur. Kandungan metabolit sekunder dari *C. gigantea* berupa senyawa terpenoid bersifat repellent. Hal ini terbukti efektif dalam menghambat proses bertelur dan menetasnya *Paraucosmetus pallicorn* (Sari, 2019). Penggunaan mulsa jerami juga dapat mengurangi populasi kelompok telur. Jerami melepaskan senyawa fenol yang tidak disukai hama (Oszmianski, J., JK, Ostek, Biernat 2015).

Ekstrak tumbuhan yang berasal dari *C. cujete* dan *C. gigantea* efektif menurunkan populasi larva *S. exigua*. *C. cujete* mengandung senyawa metabolit sekunder, termasuk saponin, flavonoid, dan tanin (Fariantika dkk., 2019). Sementara itu, *C. gigantea* mengandung senyawa metabolit berupa fenol, flavonoid, alkaloid, terpenoid, tanin, saponin, glikosida, fitosterol, dan kardenolida (Palayukan dkk., 2021). Senyawa-senyawa ini bersifat repelan dan anti-feedan. Hal ini membuat larva enggan memakan daun bawang, dan jika dimakan, akan menyebabkan gangguan pada sistem pernapasan dan pencernaan. Gangguan pernapasan dan pencernaan akan menyebabkan terhambatnya perkembangan hingga kematian larva. Intensitas serangan berkaitan erat dengan populasi larva dan kemampuan makan. Hal ini karena semakin tinggi populasi larva, semakin tinggi pula intensitas serangan yang disebabkan oleh larva

Aplikasi ekstrak tumbuhan dan perlakuan petani dengan insektisida sintesis efektif menurunkan populasi larva sehingga mengurangi intensitas serangan. Aplikasi ekstrak tumbuhan yang mengandung senyawa metabolit dapat menyebabkan penurunan kemampuan makan larva sehingga dapat menurunkan intensitas serangan larva pada daun bawang merah. Penggunaan mulsa menunjukkan pengamatan populasi larva dan intensitas serangan yang lebih sedikit dibandingkan dengan perlakuan tanpa mulsa. Penggunaan mulsa dapat menyebabkan kematian pra-pupa yang akan masuk ke dalam tanah karena terhalang mulsa, dan pupa yang akan menjadi dewasa tidak dapat keluar karena mulsa. Penggunaan mulsa juga efektif dalam mengurangi intensitas serangan karena melestarikan predator alami (Tabel 4.5 dan Tabel 4.6).

Aplikasi ekstrak tumbuhan dan mulsa memperlihatkan hasil musuh alami (predator) tertinggi dan kemungkinan berkaitan dengan rendahnya populasi hama. Musuh alami tersebut meliputi famili *Coccinellidae*, *Aranea*, *Zygoptera*, dan *Paederinae*. Laba-laba, semut merah, dan semut hitam, serta tingginya populasi predator, akan memengaruhi populasi larva dan intensitas serangan *S. exigua*. Semakin banyak

predator, semakin banyak pula hama *S. exigua* yang menjadi mangsa predator tersebut, sehingga populasinya akan menurun. Pemasangan mulsa jerami menjaga kelembapan tanah dan suhu permukaan, yang sangat cocok untuk perkembangan artropoda predator. Penggunaan mulsa meningkatkan keberadaan artropoda predator pada tanaman bawang merah, terutama laba-laba dan semut (Rahim, 2019). Laba-laba menggunakan mulsa jerami padi sebagai media untuk membuat jarring (Sunarti, 2011). Laba-laba serigala memangsa larva instar pertama dengan daya mangsa rata-rata 95%. (Sumayanti 2021). Penelitian Nursyirman (2013), menemukan beberapa musuh alami dominan di agroekosistem tanaman bawang merah, seperti *Cocopet*, *Coccinelidae*, dan semut merah. *Coccinelidae* merupakan kelompok predator telur *S. exigua* yang umum ditemukan pada daun bawang. Sementara itu, semut merah memangsa larva setelah menggigit dan mengerumuninya hingga mati.

Tabel 4.5. menyajikan jenis dan jumlah populasi predator selama tujuh pengamatan. Perlakuan P2 menunjukkan jumlah populasi predator tertinggi dibandingkan semua pengamatan, sementara perlakuan petani menunjukkan populasi predator terendah. Tabel 4.6. menunjukkan persentase peningkatan dan penurunan populasi predator dari 7 pengamatan. Perlakuan dengan populasi predator terendah adalah perlakuan P1, dengan persentase penurunan sebesar 8% dibandingkan dengan perlakuan kontrol. Perlakuan P2 menunjukkan peningkatan populasi predator sebesar 71%, P3 dengan persentase peningkatan sebesar 45%, dan P4 dengan persentase peningkatan sebesar 34%.

Interval aplikasi ekstrak 3 hari menunjukkan jumlah rata-rata populasi musuh alami tertinggi. Perlakuan dengan aplikasi ekstrak per 7 hari menunjukkan jumlah rata-rata populasi musuh alami yang serupa dengan aplikasi per 3 hari. Hal ini menunjukkan bahwa aplikasi ekstrak, pestisida nabati, tidak membunuh atau melukai musuh alami. Risnawati (2024) menyatakan bahwa penggunaan pestisida nabati memiliki kelebihan antara lain mudah terurai di alam, sehingga tidak meninggalkan residu yang membahayakan pada tanaman, tidak beracun bagi musuh alami, dan tidak menyebabkan hama menjadi resisten dalam waktu singkat.

Penggunaan ekstrak dapat lebih efektif dalam mempertahankan keberadaan musuh alami dibandingkan pestisida kimia yang umumnya bersifat generalis, di mana selain membunuh hama serangga, juga dapat membunuh musuh alami. Hal ini sesuai dengan penelitian Ilmi dkk. (2016), yang menyatakan bahwa pestisida kimia, terutama yang berspektrum luas, dapat menyebabkan kematian parasit atau predator. Kematian musuh alami dapat terjadi karena kontak langsung dengan pestisida, atau secara tidak

langsung, musuh alami memakan hama yang telah memakan tanaman, sehingga mengandung residu pestisida.

Banyaknya populasi musuh alami pada perlakuan ekstrak dapat disebabkan oleh adanya senyawa metabolit yang terkandung dalam ekstrak yang bersifat atraktan bagi musuh alami (Masriany dkk., 2020). Senyawa volatil dapat berperan sebagai atraktan atau repelan (Masriany dkk. 2020). Senyawa metabolit volatil tumbuhan ini meliputi terpenoid, alkaloid, tanin, steroid, benzena, dan turunan asam lemak. Selain itu. Penelitian Wonohardjo (2015) menunjukkan bahwa senyawa volatil memiliki potensi sebagai atraktan bagi musuh alami *Anagrus nilaparvatae*.

Aplikasi ekstrak tumbuhan dan mulsa Jerami padi secara signifikan mengurangi jumlah kelompok telur, populasi larva, dan intensitas serangan *S. exigua*, serta meningkatkan populasi musuh alami. Perlakuan yang paling efektif adalah perlakuan petani dan perlakuan aplikasi ekstrak dengan interval 3 hari dengan mulsa jerami, yang mampu mengurangi jumlah kelompok telur sebesar 74%, mengurangi populasi larva sebesar 72%, intensitas serangan sebesar 79%, dan meningkatkan populasi predator sebesar 71%. Aplikasi ekstrak tumbuhan dan mulsa merupakan alternatif pengendalian yang sangat tepat untuk pertanian berkelanjutan.

4.4. Kesimpulan

Ekstrak MacBio yang dikombinasi dengan penggunaan mulsa Jerami padi punya kemampuan untuk mengendalikan hama ulat bawang merah *S. exigua* dengan mengurangi populasi larva, kelompok telur dan intensitas serangan. Perlakuan mulsa Jerami padi dan ekstrak tanaman juga menarik musuh alami sehingga populasinya meningkat terutama semut api *S. invicta*.

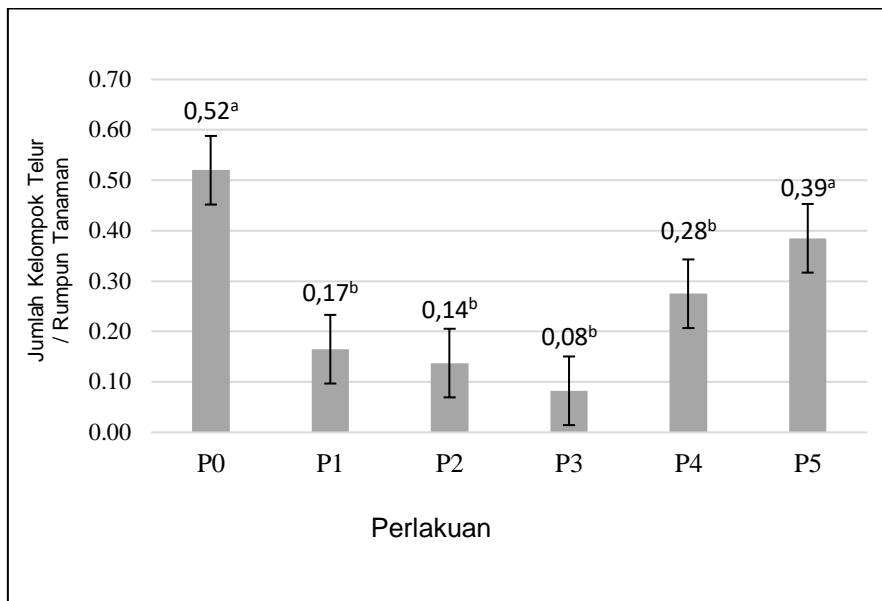
DAFTAR PUSTAKA

- Aprialty, AS, Sjam, S., Dewi, V.S., Agustina, Y.E. (2021). Sinergi ekstrak tumbuhan *Calotropis gigantea* dan *Cresscentia cujete* sebagai penghambat penetasan telur dan antifeedan terhadap *Spodoptera frugiperda*. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci* 807. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/807/2/022086>
- CABI. (2019). Lembar Data *Spodoptera exigua* (Ulat Tentara Bit). [Dokumen WWW]. Kompedium Perlindungan Tanaman..
- Capinera, J.L. (2017). Ulat Tentara Musim Gugur *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Insekta: Lepidoptera: Noctuidae). IFAS Extention. Universitas Florida. *IFAS Extention*. Universitas Florida.
- Dhiaswari D.R. (2019). Pengaruh Perilaku Petani Bawang Merah dan Penggunaan Pestisida terhadap Dampak bagi Lingkungan Hidup di Desa Klampok Kecamatan Wanasari kabupaten Brebes. *Edu Geografi* 7.
- Fariantika, A., Rahayu, S.E., Dharmawan, A. (2019). Uji Ekstrak Buah Maja (*Aegle marmelos*) terhadap Mortalitas dan Penghambatan Makan *Spodoptera litura*. *Jurnal Ilmu Hayati*. 3, 31–37.
- Hanafiah, K.A. 2010. Rancangan Uji Coba Teori dan Aplikasi. PT. Raja Grafindo Persada.
- Hsue, A.G. & N.C. 1989. Biologi dan Morfologi Reproduksi Ulat Tentara Bit *Spodoptera exigua* (Huubner) (Lepidoptera; Noctuidae). *Jurnal Entomologi Tiangkok*. 9, 239–250.
- Hussein, H.S., Salem, M.Z.M., Soliman, A.M., Eldesouky, SE. (2023). Studi perbandingan tiga ekstrak tumbuhan sebagai strategi pengendalian baru terhadap *Spodoptera littoralis* (Boisd.) (Lepidoptera: Noctuidae). *Sci Rep*. 13, 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-30588-x>
- Ilmi, N., Ambar, A.A., Laba, M.S. (2016). Populasi Arthropoda Hama Dan Musuh Alaminya Yang Terpapar Pestisida Kimiawi Dan Pestisida Nabati Pada Pertanaman Padi Di Kecamatan Patampanua, Kabupaten Pinrang. *Jurnal Agrotan*. 2, 34–44.
- Kishi, M., N. Hirschhorn, M. Djajadisastra, L.N., Satterlee S., Strowman. (1995). Hubungan Penyemprotan Pestisida dengan Tanda dan Gejala pada Petani Indonesia. *Scand J Work Environ Health*. 21, 124–133.
- Marsadi, D., Supartha, I.W., Sunari, A.A.A.A. (2017). Invasi dan Tingkat Serangan Ulat Bawang (*Spodoptera exigua* Hubner) pada D.a Kultivar Tanaman Bawang Merah di Desa Songan, Kecamatan Kintamani, Kabupaten Bangli. *Jurnal Agroekoteknologi Tropika*. 6, 33–37.
- Masriany, Sari, A., dan Armita, D. (2020). Diversitas Senyawa Volatil dari Berbagai Jenis Tanaman Dan Potensinya Sebagai Pengendali Hama yang Ramah Lingkungan. *Prosiding Seminar Nasional Biologi di Era Pandemi COVID-19*. 475–481.
- Moekasan, TK, Prabaningrum, L., Meitha, D., Ratnawati, L., Penelitian, B., Sayuran, T., Penelitian, P., Pengembangan, D., Badan, H., Dan, P., Pertanian, P. (2005). Penerapan pht pada sistem tanam tumpanggilir bawang merah dan cabai.
- Nasir B., Toana, M.H., Lasmini S.J., Prabowo, N. (2020). Efektivitas Ekstrak Nerium Oleander Linn. Terhadap *Spodoptera exigua* Hubner. Pada Tanaman Bawang Merah Yang Diberi Mulsa Jerami Padi Di Lahan Kering., dalam: *Prosiding Seminar Nasional Pertanian Vir*. Pola Pertanian Lahan Kering Berkelanjutan.
- Nursyirman, N. (2013). Studi Musuh Alami (*Spodoptera Exigua* Hbn) pada Agroekosistem Tanaman Bawang Merah Kajian Musuh Alami *Spodoptera Exigua* pada Agroekosistem Bawang Merah Nusyirwan. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*. 13, 33–37.

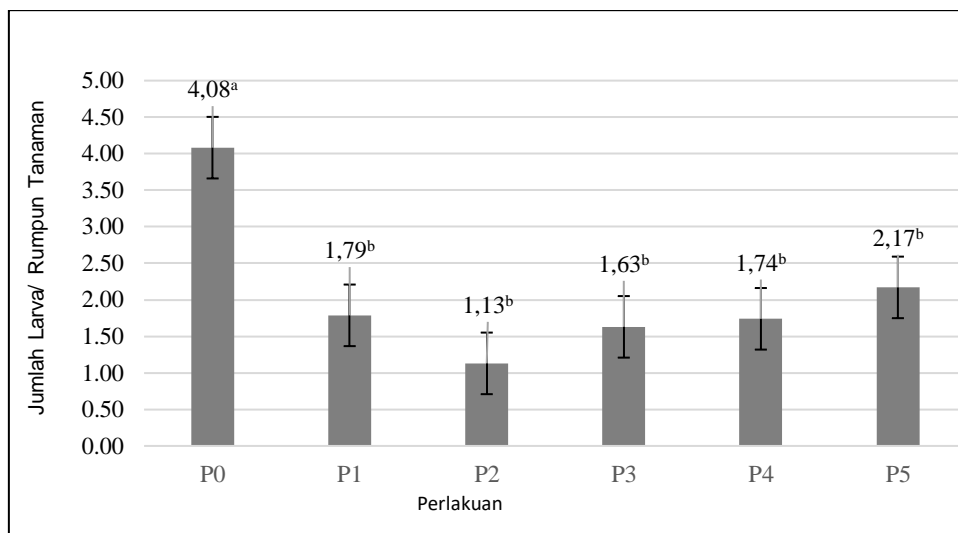
- Oszmianski, J., J.K., Ostek, Biernat, A. (2015). Kandungan senyawa fenolik dalam jaringan daun *Aesculus glabra* dan *Aesculus parviflora* Walt. *Molecules*. 20, 2176–2189.
- Palayukan, P.A., Sjam, S., Melina, Sulaeha, Rosmana, A., Dewi, V.S., Budirman. (2021). Penerapan Kombinasi *Calotropis gigantea* L. Dan *Crescentia cujete* L. Serta *Schirpophaga innotata* dan *Leptocorisa acuta* Thunb. Dan predator pada tanaman padi. *Konferensi IOP Ser Earth Environ Sci* 807. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/807/2/022087>
- Paparang, M., Memah V.V., & Kaligis J.B. (2016). Populasi dan Persentase Serangan Larva *Spodoptera exigua* Hubner pada Tanaman Bawang Daun dan Bawang Merah di Desa Ampereng Kecamatan Langowan Barat. *Buka Sistem Jurnal* 7. doi.org/10.35791/cocos.v7i7.13936
- Pasigai, M.A., dan Paiman (2023). Keragaan Teknologi untuk Meningkatkan Produktivitas Bawang Merah Varietas Lembah Palu: Sebuah Review. *Jurnal Hortikultura Indonesia*. 14, 9–16. <https://doi.org/10.29244/jhi.14.1.9-16>
- Rabelo, M.M., Santos, I.B., Paula-moraes, S. V. (2022). Stabilitas Resistensi terhadap Insektisida Diamida dan Piretroid di Amerika Serikat.
- Rajesh Chowdary, L., Suneel Kumar, G.V., Bharathi, S., Sarada, O., Nagaraju, Y., Manikyanahalli Chandrashekara, dan K., Naga Harish, G. (2024). Kelangsungan hidup di luar musim dan riwayat hidup ulat grayak bit, *Spodoptera exigua* (Hubner) pada berbagai tanaman inang. *Rep Sains* 14, 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-64639-8>
- Rezki, A.A, Sjam, S., Tamrin. (2025). Pengaruh Kombinasi Tanaman Refugia dengan Aplikasi Biopestisida terhadap Populasi dan Intensitas Serangan *Spodoptera exigua* (Hubner) (Lepidoptera; Noctuidae). *IOP Conf Ser Earth Environ Sci* 1446, 012002. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1446/1/012002>
- Risnawati. (2024). Keanekaragaman Arthropoda pada Tanaman Sayuran (Selada, Pakcoy, dan Sawi) yang dikelola secara Organik. Skripsi.
- Sari, D.E. (2019). Efek Repellent Ekstrak *Calotropis Gigantea* R. Br. Terhadap *Paraecusmetus Pallicornis* Dallas. *Agrominansia* 3, 103–109. <https://doi.org/10.34003/271976>
- Shahabuddin, WA. (2002). Aktivitas Insektisida Ekstrak Daun Widuri (*Calotropis gigantea*) terhadap Larva *Spodoptera exigua*. *J.Agroland* 6, 319–325.
- Sjam, S., Rosmana, A., Vien, S.D., Sulaeha, T., Farida, Agung, M., Adhyaksa, H. (2023). Aktivitas insektisida kombinasi ekstrak fermentasi *Calotropis gigantea* L. dan *Crescentia cujete* L. terhadap hama dan musuh alami padi. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*. 1208. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1208/1/012026>
- Sumayanti, H.I. (2021). Identifikasi Hama Tanaman Padi Sawah (*Oryza sativa* L.) dan Musuh Alami di Kecamatan Curug Kota Serang Provinsi Banten. *Jurnal Ilmu Pertanian Tirtayasa* 3, 229–241. <https://doi.org/10.33512/jipt.v3i1.11799>
- Sunarti. (2011). Pengaruh pemberian mulsa jerami terhadap populasi hama kepik hijau (*Nezara viridula*) yang menyerang tanaman kedelai (*Glycine max* L.) varietas burangrang. *Jurnal Dinamika* 02, 52–61
- Syamsir, M. (2022). Frekuensi Aplikasi Ekstrak Campuran Tanaman Biduri (*Calotropis gigantea*) dan Maja (*Crescentia cujete*) Terhadap *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) Pada Tanaman Jagung Kuning Dan Jagung Pulut. Skripsi.
- Thaha, V. (2019). Pengendalian Hama *Spodoptera exigua* Hubner. Pada Tanaman Bawang Merah Varietas Lembah Palu dengan Penggunaan Pupuk dan Mulsa. *J.Agroland* 26 26, 86–95.

- Wonorahardjo, S., Nurindah, N., Sunarto, D., Sujak, S., Zakia, N. (2015). Analisis senyawa volatil dari ekstrak tanaman yang berpotensi sebagai atraktan arasitoid telur wereng batang coklat, *Anagrus nilaparvatae* (Pang et Wang) Hymenoptera: Mymaridae). *J Entomol Indonesia* 12, 48–57. <https://doi.org/10.5994/jei.12.1.48>
- Wulandari, E. (2017). Efektivitas Ekstrak Buah Bintaro (*Cerbera odollam* Gaertn.) Terhadap Mortalitas Ulat Grayak (*Spodoptera litura* Fab.) dan Pemanfaatannya Sebagai Poster. *Repositori Digital Universitas Jember*. 12.

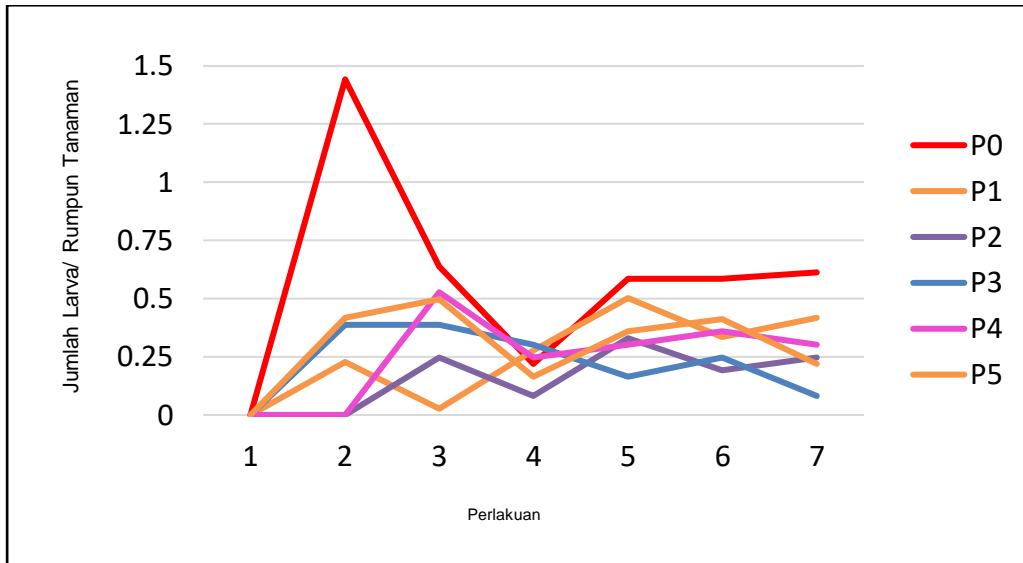
LAMPIRAN



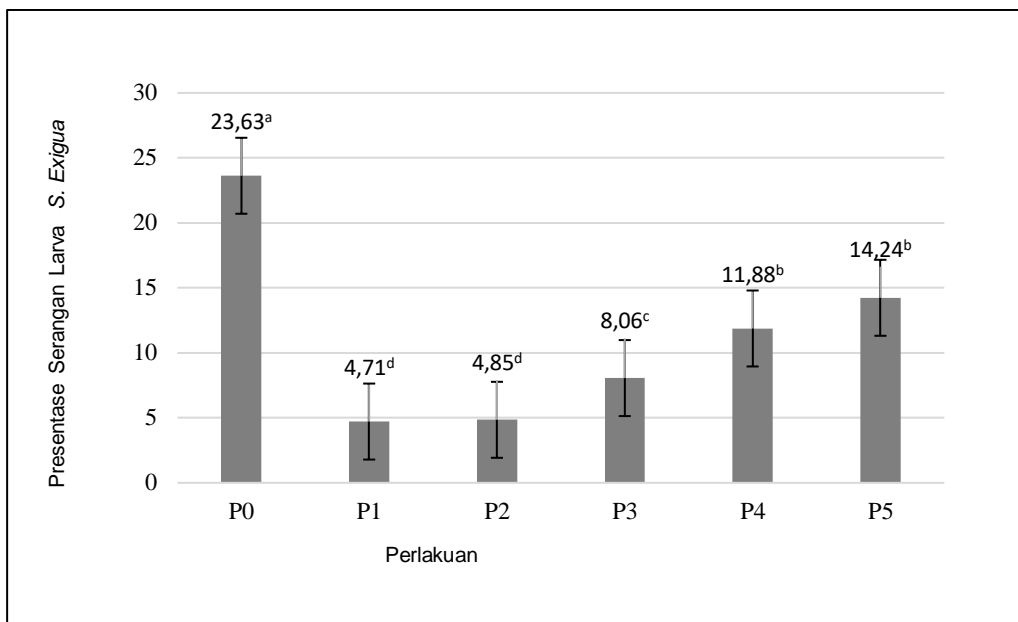
Gambar 4.1. Diagram Total Populasi Kelompok Telur *S. exigua* selama 7 Pengamatan. Keterangan: P0=Kontrol; P1= Perlakuan Petani; P2= Mulsa + Ekstrak3; P3=Mulsa + Ekstrak7; P4=Tanpa Mulsa + Ekstrak3; P5=Tanpa Mulsa + Ekstrak7.



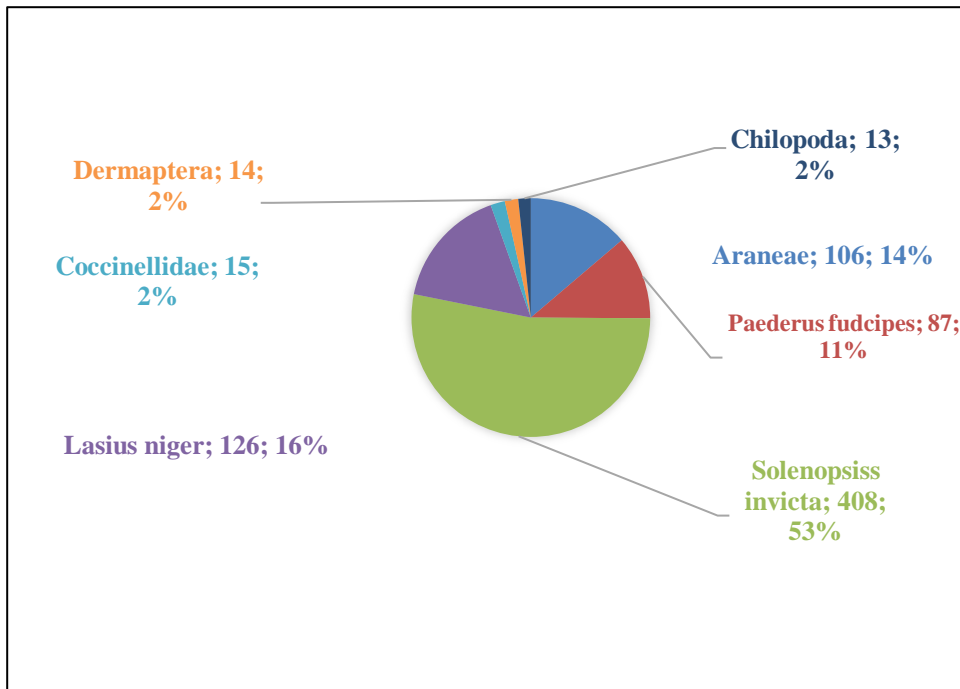
Gambar 4.2. Diagram Jumlah Populasi Larva *S. Exigua* Selama Pengamatan. Keterangan: P0=Kontrol; P1= Perlakuan Petani; P2= Mulsa + Ekstrak3; P3=Mulsa + Ekstrak7; P4=Tanpa Mulsa + Ekstrak3; P5=Tanpa Mulsa + Ekstrak7.



Gambar 4.3. Grafik Fluktuasi Populasi Larva *S. exigua*. Keterangan: P0=Kontrol; P1= Perlakuan Petani; P2= Mulsa + Ekstrak3; P3=Mulsa + Ekstrak7; P4=Tanpa Mulsa + Ekstrak3; P5=Tanpa Mulsa + Ekstrak7.



Gambar 4.4. Diagram Rata-rata Intensitas serangan Larva *S. exigua*. Keterangan: P0=Kontrol; P1= Perlakuan Petani; P2= Mulsa + Ekstrak3; P3=Mulsa + Ekstrak7; P4=Tanpa Mulsa + Ekstrak3; P5=Tanpa Mulsa + Ekstrak7.



Gambar 4.5. Diagram Jumlah dan Persentase Setiap Spesies Predator selama 7 kali Pengamatan

BAB V
**EFEKTIVITAS KOMBINASI *T. ASPERELLUM* DAN *A. FLAVUS* DENGAN
KOMPOS DALAM MENEKAN PENYAKIT BUSUK PANGKAL BAWANG
MERAH AKIBAT *F. OXYSPORUM***

ABSTRAK

Latar Belakang. Penyakit busuk pangkal batang pada bawang merah, yang disebabkan oleh *F. oxysporum*, merupakan penyakit yang paling tersebar luas di Indonesia. Pengendalian yang ada saat ini, termasuk penggunaan fungisida sintesis dan biologis, seringkali tidak memadai dalam mengendalikan penyakit ini. **Tujuan** penelitian ini adalah untuk mengevaluasi efikasi *T. asperellum* dan *A. flavus* yang dikombinasikan dengan kompos sebagai agen pengendali hayati untuk menekan penyakit busuk pangkal batang. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menyelidiki interaksi antara ketiga spesies cendawan ini. **Metode** penelitian ini dibagi dalam empat tahapan (1) perngembangbiakan cendawan antagonis dan mediana (2) Penilaian efikasi *Trichoderma* dan *Aspergillus* terhadap penyakit busuk pangkal (3) Evaluasi interaksi *Trichoderma*, *Aspergillus*, dan *Fusarium* secara in vitro (4) Evaluasi kemungkinan interaksi penginderaan kuorum melalui produksi Farnesol. **Hasil.** Uji lapangan kami menunjukkan bahwa penerapan kombinasi ini secara signifikan mengurangi kejadian busuk pangkal dibandingkan dengan perlakuan yang hanya menggunakan kompos dan *T. asperellum* atau *A. flavus* ditambah kompos; lebih lanjut, kombinasi dua cendawan dan kompos meningkatkan hasil tanaman bawang merah. Kajian in vitro menunjukkan bahwa *T. asperellum* menunjukkan percampuran dengan *A. flavus*, yang menyebabkan terjadinya peningkatan biomassa miselium *T. asperellum* sebesar 55%. Percampuran ini mengurangi berat miselium dan kepadatan spora *F. oxysporum*. Lebih lanjut, pengembang biakan cendawan ini menghasilkan peningkatan kadar farnesol, suatu molekul pengindera quorum (QSM). Temuan dari studi ini menunjukkan bahwa interaksi *T. asperellum* dan *A. flavus*, yang menghasilkan QSM, kemungkinan meningkatkan efikasi kedua cendawan ini ketika dikombinasikan dengan kompos untuk mengendalikan busuk pangkal pada bawang merah. **Kesimpulan.** Aplikasi kompos, dikombinasikan dengan spesies cendawan *T.asperellum* atau *A. flavus*, telah menunjukkan penurunan signifikan penyakit busuk pangkal yang disebabkan oleh *F. oxysporum* pada bawang merah dan peningkatan produktivitas bawang merah.

Kata kunci: *A. flavus*, busuk pangkal, serangan penyakit, farnesol, *F.oxysporum*, interaksi, *T. asperellum*, quorum-sensing.

5.1. Pendahuluan

Bawang merah merupakan komoditas yang mempunyai nilai komersial tinggi, terutama karena kandungan gizinya yang tinggi. Penting perannya sebagai penambah rasa dalam kuliner. Di Indonesia, permintaan bawang merah dapat dikaitkan dengan beberapa faktor, termasuk pertumbuhan penduduk, perluasan sektor makanan olahan, dan perkembangan pasar. Faktor-faktor ini menciptakan kondisi yang menguntungkan bagi pertumbuhan industri bawang merah, dan petani termotivasi untuk menerapkan pengelolaan tanaman yang efisien untuk mengurangi kerusakan seperti yang disebabkan oleh serangan hama dan penyakit (Taufiq et al. 2021).

Tanaman ini rentan terhadap beberapa penyakit yang memengaruhi produksinya. Penyakit penting yang memengaruhi bawang merah meliputi busuk pangkal umbi, bercak ungu, antraknosa, hawar daun *Stemphylium*, penyakit bulai berbulu halus, dan busuk leher (Hadiwiyono dkk. 2020; Schwartz dan Mohan 2008). Di antara penyakit-penyakit ini, busuk pangkal disebabkan oleh patogen cendawan *F.oxysporum* adalah penyakit yang paling dominan di Indonesia. Penyakit ini ditandai dengan daun yang layu dan mati pucuk dengan cepat, yang awalnya muncul di ujung daun. Di bawah tanah, penyakit ini ditandai dengan akar yang pipih yang berwarna coklat tua, dan dapat menjadi berongga dan tembus cahaya, sehingga tanaman mudah dicabut dari tanah (Conn dkk., 2012). Potensi kehilangan hasil berkisar antara 50% hingga 70% (Hadiwiyono dkk., 2020).

Petani sering menggunakan fungisida seperti Mancozeb, karbendazim, kombinasi karbendazim dan Mancozeb, serta sulfur yang dapat dibasahi untuk mengendalikan penyakit bawang merah. Frekuensi aplikasi berkisar antara enam hingga sembilan semprotan, tergantung musim. Namun, aplikasi fungisida yang berulang dapat memicu resistensi patogen, berpotensi menyebabkan hilangnya musuh alami, dan menimbulkan kekhawatiran bagi kesehatan manusia dan lingkungan (Wu dkk., 2023). Menanggapi dampak buruk penggunaan fungisida dalam budidaya bawang merah, minat terhadap pengendalian hayati dengan menggunakan mikroorganisme antagonis semakin meningkat. Studi yang melibatkan *T. asperellum* menunjukkan bahwa cendawan ini dapat menembus akar tanaman dan menyebar hingga ke daun bawang merah (Ratnawati dkk., 2020; Ismail dkk., 2020). Selain *Trichoderma*, mikroorganisme lain seperti *Fusarium*, *Bacillus*, dan *Pseudomonas* non-patogen juga digunakan dalam pengendalian penyakit bawang merah (Edy dkk., 2023; Wiyono dkk., 2022). *A. niger*, *A.flavus*, dan *A. terreus*, telah menunjukkan efikasi dalam menekan penyakit busuk pangkal dan bercak daun (Atallah dkk., 2022; Choi dan Ahsan, 2022)

Mikroorganisme terlibat dalam berbagai interaksi yang dapat dikategorikan sebagai inhibitorik, stimulasi, mutualistik, atau netral (Perez dkk. 2002). Spesies *Trichoderma* menunjukkan berbagai interaksi; misalnya, *Trichoderma* telah diamati terlibat dalam hubungan yang saling menguntungkan dengan *Aspergillus aculeatus* dan *Rhizopus arrhizus*, namun, menunjukkan antagonisme terhadap *A. piperis* dan *Penicillium oxalicum* (Dourou dan La Porta 2023). Lebih lanjut, interaksi antara cendawan *T. harzianum* dan *Trametes versicolor*, serta *T. asperellum* dan *Rhizoctonia solani*, menyebabkan perubahan pertumbuhan hifa dan peningkatan aktivitas enzimatis seperti selulase dan kitinase (Hiscox dkk., 2010; Viterbo dkk., 2002). Fenomena ini menunjukkan bahwa *Trichoderma* kemungkinan dapat berkomunikasi dengan cendawan lain melalui sistem pensinyalan antarsel, yang dikenal sebagai penginderaan kuorum (QS). QS adalah mekanisme yang dimediasi oleh molekul kecil yang berdifusi ke lingkungan, yang memengaruhi interaksi mikroba (Santoyo dkk. 2021). Cendawan ini, melalui produksi farnesol sebagai molekul penginderaan kuorum (QSM), telah menunjukkan interaksi yang signifikan dengan *Pseudomonas aeruginosa*. Bakteri ini memanfaatkan beberapa sinyal QS, termasuk 3-oxododecanoyl-L-homoserine lactone (3-oxo-C12-HSL), Nbutanoyl homoserine lactone, 2-heptyl-3-hydroxy-4-quinolone, dan 2-(2-hydroxyphenyl)-thiazole-4-carbaldehyde (Grainha dkk. 2020). Menarik untuk mengevaluasi *Trichoderma*, genus yang terkenal akan aplikasinya di bidang pertanian, untuk menentukan apakah ia dapat berkomunikasi dengan spesies cendawan lain melalui QSM.

Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan *T. asperellum* dan *A. flavus* yang ditambahkan ke dalam tanah bersama kompos untuk mengurangi busuk pangkal batang dan mendorong pertumbuhan bawang merah. Selain tujuan utama ini, pada penelitian ini juga menyelidiki potensi interaksi spesifik yang terjadi dan mekanisme penginderaan QS antara cendawan *T. asperellum* dan *A. flavus*, dengan fokus pada produksi molekul QS farnesol. Galur *A. flavus* yang digunakan dalam penelitian ini diisolasi dari bawang merah yang berasal dari Kabupaten Enrekang. Sementara itu, *T. asperellum* berasal dari bawang merah yang dibudidayakan di Lembah Palu, Sulawesi Tengah.

5.2. Metode Penelitian

5.2.1 Bahan

Penelitian ini berfokus pada penggunaan *T. asperellum* dan *A. flavus* sebagai agen pengendali *F. oxysporum*. Cendawan pertama diisolasi dari bawang merah di Lembah Palu, Sulawesi Tengah. Sedangkan cendawan kedua diperoleh dari bawang merah di Kabupaten Enrekang, Sulawesi Selatan.

5.2.2. Pelaksanaan

5.2.2.1 Pengembangbiakan cendawan antagonis dan medianya

Kedua spesies cendawan dikulturkan pada media PDA sebelum dipindahkan ke media padi untuk pengembangan lebih lanjut. Untuk menyiapkan media padi, 200 g padi dimasukkan ke dalam kantong plastik dan disterilkan pada suhu 121°C di bawah tekanan satu atmosfer selama dua jam. Setelah dingin, media steril ini diinokulasi dengan lima cakram berukuran 5 mm dari kultur *Trichoderma* atau *Aspergillus* yang berumur tujuh hari. Media padi yang telah diinokulasi kemudian diinkubasi pada suhu ruangan, dalam kisaran 27°C hingga 28°C, selama sepuluh hari. Setelah inkubasi, kultur digiling menjadi bubuk untuk aplikasi di lapangan. Media yang digunakan untuk mendukung pertumbuhan *Trichoderma* dan *Aspergillus* di lapangan berasal dari campuran kompos sisa tanaman dan pupuk kandang, khususnya jerami jagung, batang pisang, gulma siam, dan pupuk kandang kambing dengan rasio berat 1:1:1:1. Prosedur pengomposan dimulai dengan mencacah sisa tanaman, mencampur pupuk kandang kambing, menambahkan air, membalik, dan menutupinya dengan lembaran plastik. Campuran ini diinkubasi selama 45 hari dan dibalik setiap tiga hari untuk meningkatkan aerasi dan aktivitas mikroba. Sebelum aplikasi di lapangan, kompos dibuka dan disimpan di dalam ruangan selama satu bulan. Analisis kimia kompos dilakukan di Laboratorium Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin.

5.2.2.2 Penilaian efikasi *Trichoderma* dan *Aspergillus* terhadap penyakit busuk pangkal

Percobaan dilakukan pada musim kemarau di Kabupaten Enrekang, 800 meter di atas permukaan laut. Petak percobaan dibuat dengan ukuran 1,2 m x 3 m, dan perlakuannya terdiri dari kompos saja, kompos ditambah *T. asperellum*, kompos ditambah *A. flavus*, dan kombinasi kompos, *T. asperellum*, dan *A. flavus*. Setiap perlakuan diulang lima kali. Semua perlakuan diaplikasikan pada petak percobaan sebelum budidaya bawang merah. Kompos digunakan dengan dosis 5.000 kg/ha, dengan inokulum *T. asperellum* sebesar 4,5 g/kg dan *A. flavus* sebesar 5 g/kg kompos, yang setara dengan sekitar 2×10^8 spora dan propagul tambahan. Campuran kompos dan cendawan ini disebar secara merata di seluruh petak dan kemudian ditutup dengan tanah. Benih bawang merah varietas Super Philip ditanam dengan jarak tanam 20 cm x 20 cm, sehingga diperoleh jumlah benih bawang merah per petak sebanyak 90 butir dengan luas 3,6 m².

Evaluasi penyakit tanaman disebabkan oleh *F. oxysporum* dilakukan dengan menilai sembilan tanaman per petak, yang merupakan sepuluh persen dari total populasi

tanaman di setiap petak. Penilaian ini dilakukan dua minggu sekali, berlanjut hingga 49 hari pasca tanam. Parameter yang diamati dalam penelitian ini meliputi tingkat keparahan penyakit dan produktivitas bawang merah. Tingkat keparahan penyakit dihitung menggunakan rumus: $DS = (n_0 \times 0 + n_1 \times 1 + n_2 \times 2 + n_3 \times 3 + n_4 \times 4 + n_5 \times 5) / (N \times Z)$ dengan DS adalah tingkat keparahan, $n_1 - n_5$ adalah jumlah daun yang terinfeksi pada setiap skor, N adalah total daun yang diamati, dan Z adalah skor tertinggi yang ditemukan. Skor keparahan ditentukan berdasarkan klasifikasi gejala berikut pada daun: 0 (tanpa gejala), 1 ($\leq 20\%$ luas daun menguning), 2 (21–40% luas daun menguning), 3 (41–60% luas daun menguning), 4 (61–80% luas daun menguning), dan 5 ($> 80\%$ luas daun menguning). Selain itu, produktivitas bawang merah dievaluasi dengan menimbang sembilan sampel bawang merah representatif dari setiap plot.

5.2.2.3 Evaluasi interaksi *Trichoderma*, *Aspergillus*, dan *Fusarium* secara *in vitro*

Dalam karya ini, kami memasang dua cendawan menguntungkan dengan satu cendawan patogen pada media PDA untuk mengevaluasi interaksi antagonis atau sinergis mereka. Pasangan tersebut terdiri dari dua konfigurasi yakni kultur ganda dan tri-kultur. Pengaturan kultur ganda melibatkan *F. oxysporum* dengan *T. asperellum*, *F. oxysporum* dengan *A. flavus*, dan *T. asperellum* dengan *A. flavus*. Sedangkan, pengaturan tri-kultur meliputi kultur *F. oxysporum*, *T. asperellum*, dan *A. flavus* dalam satu cawan Petri. Setiap kultur dalam kedua konfigurasi dibuat dengan jarak pemisahan 3 cm dalam cawan Petri berdiameter 9 cm, dan replikasi diulang lima kali. Dampak interaksi di antara ketiga spesies cendawan diukur melalui berat segar miselium dan kepadatan spora. Satu minggu setelah inokulasi, miselia dipanen dengan mengikis permukaan media secara perlahan. Selanjutnya, miselia yang dipanen disuspensikan dalam 10 ml air suling, diaduk, dan disaring melalui kain kasa untuk memisahkan biomassa miselium dari spora. Setelah dikeringkan dengan udara di atas aluminium foil, berat miselium ditentukan, dan jumlah spora dalam suspensi air dinilai menggunakan hemasitometer. Kepadatan spora yang dihasilkan dihitung per gram berat miselium.

5.2.2.4 Evaluasi kemungkinan interaksi penginderaan kuorum melalui produksi Farnesol

Dalam menyelidiki interaksi antara *T. asperellum* dan *A. flavus* untuk produksi farnesol, kedua cendawan dikultur dalam medium kaldu dekstrosa kentang (PDB). Cakram berdiameter 7 mm dari medium padat masing-masing cendawan ditempatkan ke dalam sachet steril kecil, yang kemudian dimasukkan ke dalam 150 mL PDB di dalam labu Erlenmeyer 250 mL. Produksi farnesol juga diamati dalam medium kultur *T. asperellum*, *A. flavus*, dan *F. oxysporum*. Setiap perlakuan direplikasi dalam tiga labu

Erlenmeyer. Setelah inkubasi selama satu minggu, ketiga medium kultur dari setiap perlakuan didekantasi dari miselia cendawan dan kemudian diblender. Selanjutnya, 100 mL medium kultur yang telah diblender dicampur dengan 100 mL larutan kloroform dan metanol (rasio 1:1) dan diekstraksi secara ultrasonik pada suhu 55 °C selama 30 menit. Campuran tersebut kemudian disentrifugasi, dan 3 ml supernatan dikumpulkan untuk analisis farnesol menggunakan kromatografi gas-spektrometri massa (GC-MS) pada Shimadzu QP2010 (Tokyo, Jepang). Prosedur analisis yang digunakan didasarkan pada metode didirikan oleh Lee et al. (2007), menggunakan farnesol standar (95%, campuran isomer) yang bersumber dari Sigma Aldrich (AS). Data kromatografi diinterpretasikan menggunakan pustaka NIST 17 dan Wiley 9. Ketika perangkat lunak instrumen tidak dapat menghasilkan kurva kalibrasi karena senyawa target berada pada konsentrasi di bawah larutan standar, konsentrasi farnesol dihitung menggunakan rumus $C_f = A_p/A_s \times C_s$, dengan C_f adalah konsentrasi farnesol, A_p adalah luas sampel, A_s adalah luas standar, dan C_s adalah konsentrasi standar. Pengukuran farnesol dilakukan dua kali.

5.2.3 Analisis statistik

Tingkat keparahan penyakit busuk pangkal batang, beserta produktivitas bawang merah, jumlah spora, dan berat miselium cendawan, dinilai melalui analisis varians (ANOVA). Selanjutnya, uji beda nyata terkecil (BNT) digunakan untuk mengevaluasi signifikansi perbedaan antar rata-rata perlakuan, dengan tingkat signifikansi $P \leq 0,05$.

5.3. Hasil dan Pembahasan

5.3.1 Hasil

5.3.1.1 Pengaruh Perlakuan Kombinasi Kompos *Trichoderma* dan *Aspergillus* terhadap Perkembangan Penyakit Busuk Pangkal

Gejala busuk pangkal muncul pada daun bawang merah dalam waktu satu minggu setelah tanam. Perlakuan yang melibatkan kompos, kompos plus *T. asperellum*, kompos plus *A. flavus*, dan kompos plus *T. asperellum* dan *A. flavus* menunjukkan pengaruh terhadap perkembangan penyakit. Tingkat intensitas penyakit masing-masing adalah 58,4%, 37,7%, 45,4%, dan 28,0%, tujuh minggu setelah aplikasi, dan semuanya menunjukkan perbedaan yang signifikan secara statistik ($P \leq 0,05$) dibandingkan dengan kontrol, yang menunjukkan tingkat intensitas penyakit sebesar 68,8% (Gambar 5.1). Penurunan tingkat intensitas penyakit ini berkontribusi terhadap efektivitas masing-masing perlakuan, yaitu masing-masing sebesar 15%, 45%, 34%, dan 59%. Analisis kompos menunjukkan komposisinya yaitu C-organik 21,25%, Nitrogen 1,18%, Fosfor 1,41%, Kalium 0,54%, C/N ratio 18, dan pH 7,05.

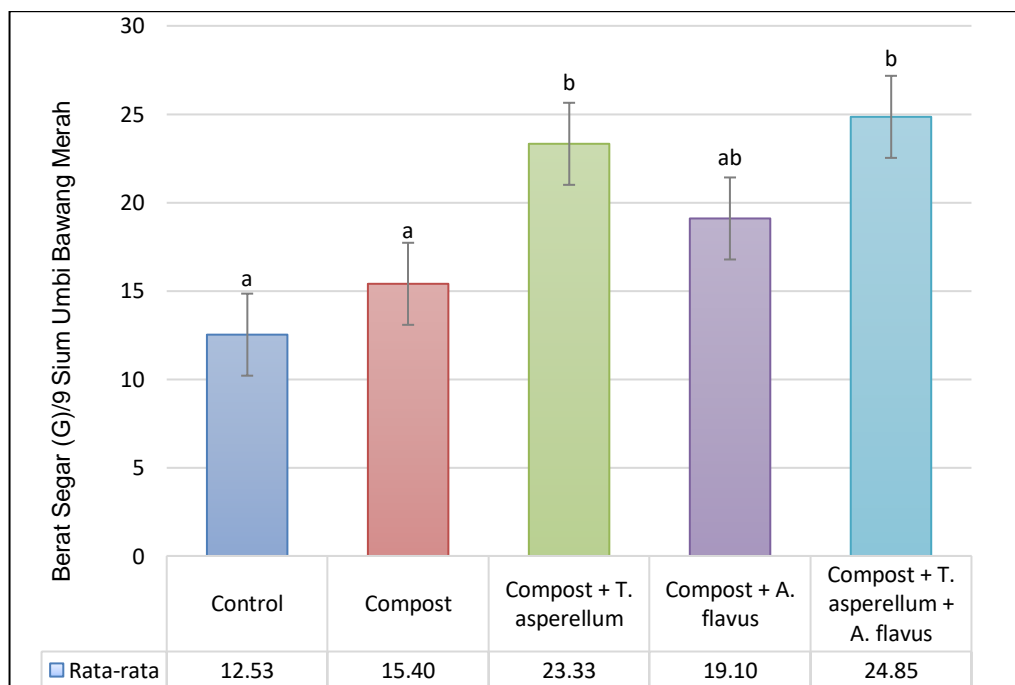
Perlakuan yang disebutkan di atas berpengaruh nyata terhadap berat segar

bawang merah, yaitu 15,4 g untuk kompos, 23,3 g untuk kompos plus *T. asperellum*, 19,1 g untuk kompos plus *A. flavus*, dan 24,9 g untuk kombinasi kompos dengan kedua cendawan tersebut. Hasil ini menunjukkan peningkatan berat segar masing-masing sebesar 23%, 86%, 53%, dan 99% dibandingkan dengan kontrol, yang menunjukkan berat segar rata-rata 12,5 g. Semua perlakuan, kecuali kompos saja, menunjukkan perbedaan yang signifikan secara statistik ($P \leq 0,05$) dari kontrol.

Tabel 5.1. Intensitas penyakit busuk pangkal setelah Perlakuan Kombinasi (Kompos trichoderma dan *T. asperellum*, *A. flavus*, *T. Asperellum*, dan *A. flavus*)

Perlakuan	MST				Penurunan intensitas penyakit (%)
	I	III	V	VII	
Control	1.8a	14.0a	37.9a	68.8a	0,0
Compost	1.6a	12.4b	35.4a	58.4b	15,1
Compost + <i>T. asperellum</i>	0.9b	7.2d	21.7c	37.7d	45,2
Compost + <i>A. flavus</i>	1.8a	10.4c	26.0b	45.4c	34,0
Compost + <i>T. asperellum</i> + <i>A. flavus</i>	0.7b	5.1e	15.4d	28.0e	59,3

Keterangan : Rata-rata intensitas penyakit busuk pangkal pada setiap minggu yang diikuti oleh huruf yang berbeda artinya berbeda nyata menurut LSD ($p \leq 0,05$).



Gambar 5.1. Produksi Bawang Merah Setelah Perlakuan Kombinasi (Kompos trichoderma dengan Cendawan *T. Asperellum*, *Aspergillus Flavus*, Dan *T. Asperellum* + *A. Flavus*)

Berat segar diikuti oleh huruf yang sama berarti tidak berbeda secara signifikan menurut LSD ($p \leq 0,05$). Batang vertikal menunjukkan deviasi standar rata-rata.

5.3.1.2 Interaksi *Trichoderma*, *Aspergillus*, dan *Fusarium* secara in vitro

Pertumbuhan miselium cendawan *F. oxysporum* terhambat ketika dikulturkan dengan *T. asperellum*, *A. flavus*, dan kombinasi *T. asperellum* dan *A. flavus*. Penurunan pertumbuhan ini diamati dari jarak jauh (Gambar 5.2), dengan berat segar miselium pada *F. oxysporum* menurun masing-masing sebesar 81,0%, 60,0%, dan 66,7% (Tabel 5.2.). Kepadatan spora, keberadaan *A. flavus* dan interaksi ganda antara *T. asperellum* menyebabkan penurunan masing-masing sebesar 29,4% dan 72,5%, sedangkan peningkatan sebesar 1,7% terjadi hanya dengan keberadaan *T. asperellum*. Secara statistik, penurunan berat segar dan kepadatan spora *F. oxysporum* berbeda secara signifikan, kecuali *T. asperellum* sendiri untuk kepadatan spora, bila dibandingkan dengan *F. oxysporum* sendiri.

Tabel 5.2. Berat segar miselium dan kepadatan spora *F. oxysporum* saat dipasangkan dengan *T. asperellum*, *A. flavus*, dan *T. asperellum* dengan *A. flavus*

Patogen dan Antagonis	Berat segar (G)	Kepadatan spora (jumlah spora/g miselia)
<i>F. oxysporum</i>	2,10 ± 0,26 a	7,27 × 10 ⁷ ± 1,17 × 10 ⁷ a
<i>F. oxysporum</i> dengan <i>T. asperellum</i>	0,40 ± 0,06 c	7,40 × 10 ⁷ ± 0,97 × 10 ⁷ a
<i>F. oxysporum</i> dengan <i>A. flavus</i>	0,80 ± 0,10 b	5,13 × 10 ⁷ ± 0,69 × 10 ⁷ b
<i>F. oxysporum</i> dengan <i>T. asperellum</i> dan <i>A. flavus</i>	0,70 ± 0,08 b	2,00 × 10 ⁷ ± 0,59 × 10 ⁷ c

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang tidak sama pada baris yang sama menunjukkan hasil yang berbeda nyata pada tingkat kepercayaan 5%, uji lanjut LSD ($p \leq 0,05$).

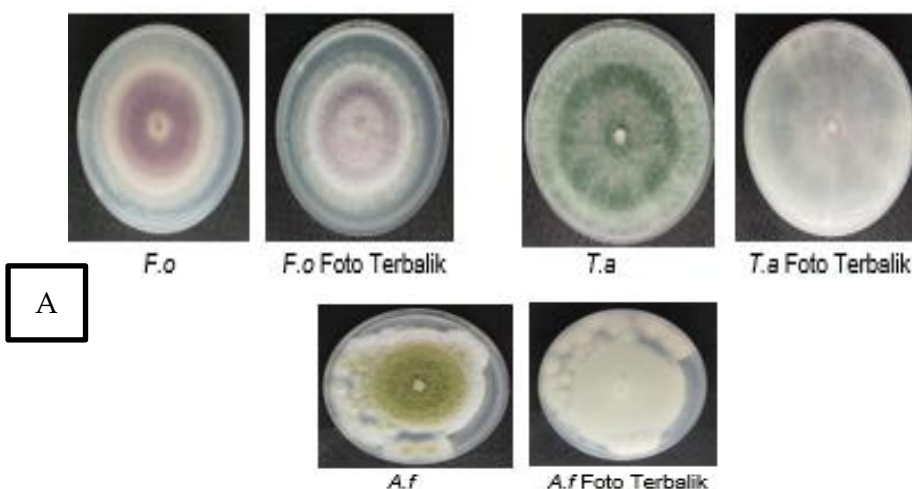
Hasil penelitian ini menemukan bahwa cendawan *T. asperellum* dihambat oleh keberadaan *F. oxysporum* dan *A. flavus*, dengan penghambatan yang diamati dari jarak jauh. Namun, dalam pasangan dengan *A. flavus*, *T. asperellum* memperluas pertumbuhan miseliumnya dari area yang mengalami penghambatan dan area sekitarnya hingga bercampur dengan miselia *A. flavus* (Gambar 5. 2).

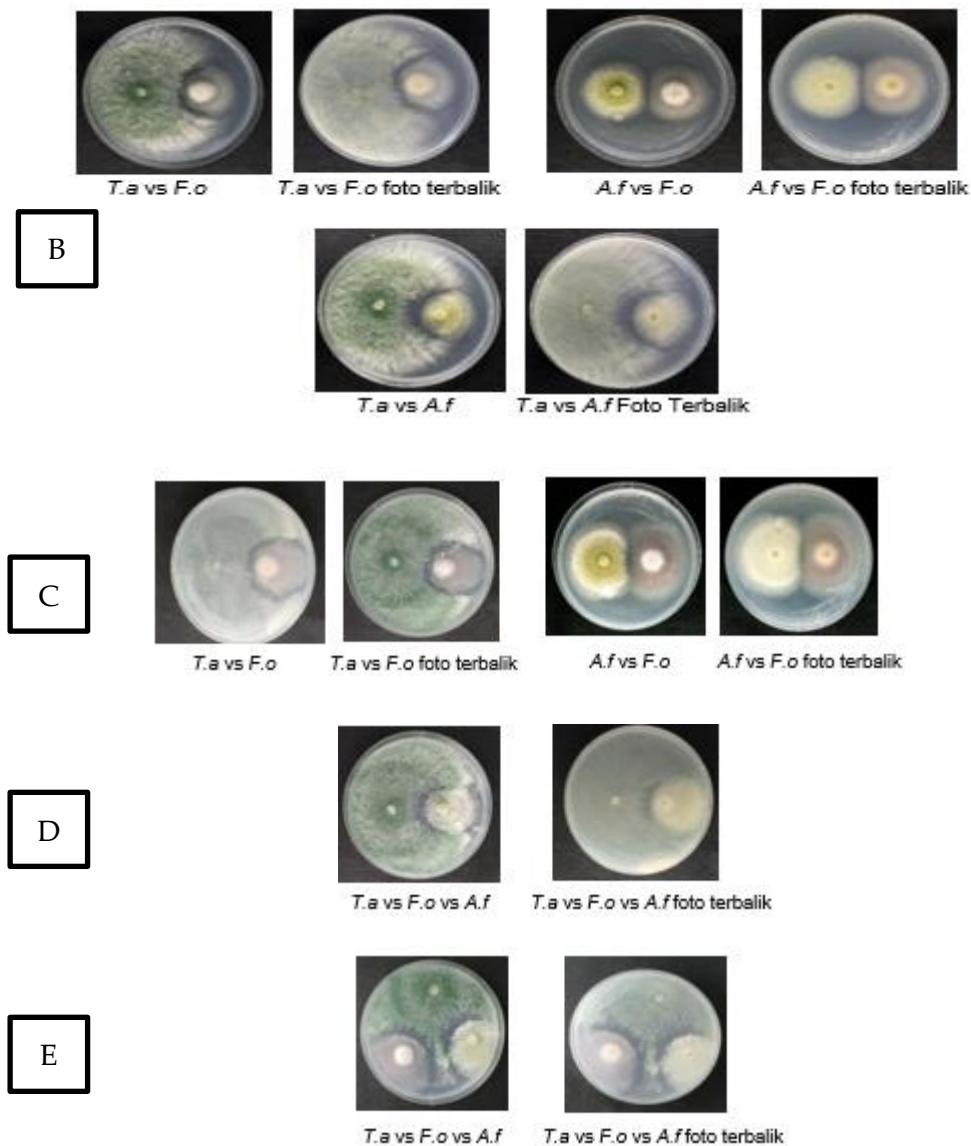
Table 5.3. Berat segar miselium dan kepadatan spora *T. asperellum* ketika dipasangkan dengan *F. oxysporum*, *A. flavus*, dan *F.oxysporum* + *A. flavus* dalam media PDA

Perlakuan	Berat segar miselium (g)	Kepadatan spora (jumlah spora/g miselia)
<i>T. asperellum</i>	0.90 ± 0.07 c	5.34 × 10 ⁸ ± 1.29 × 10 ⁸ a
<i>T. asperellum</i> dengan <i>F. oxysporum</i>	0.70 ± 0.04 d	4.06 × 10 ⁸ ± 0.24 × 10 ⁸ b
<i>T. asperellum</i> dengan <i>A. flavus</i>	1.40 ± 0.20 a	2.28 × 10 ⁸ ± 0.56 × 10 ⁸ c
<i>T. asperellum</i> dengan <i>F. oxysporum</i> + <i>A. flavus</i>	1.20 ± 0.17 b	2.49 × 10 ⁸ ± 0.31 × 10 ⁸ c

Keterangan : Angka yang diikuti huruf yang tidak sama pada baris yang sama menunjukkan hasil yang berbeda nyata pada tingkat kepercayaan 5%, uji lanjut LSD ($p \leq 0,05$).

Ko-kultivasi *T. asperellum* dengan *A. flavus* menghasilkan peningkatan berat segar miselium sebesar 55,6% dan 33,3% dengan keberadaan *F. oxysporum* secara bersamaan (Tabel 5.3.). Sebaliknya, penurunan berat miselium sebesar 22,2% terjadi ketika *T. asperellum* dipasangkan dengan *F. oxysporum*. Analisis statistik menunjukkan bahwa peningkatan berat miselium berbeda secara signifikan ($P \leq 0,05$) dibandingkan berat segar *T. asperellum* yang dikultur secara terpisah dan bersama *F. oxysporum*. Selain itu, keberadaan *F. oxysporum*, *A.flavus*, dan kombinasi keduanya dalam media kultur menurunkan kepadatan spora *T. asperellum* masing-masing sebesar 23,9%, 57,3%, dan 53,3%.





Gambar 5.2. Karakteristik morfologi *F. oxysporum* (Fo), *T. asperellum* (Ta), dan *A. flavus* (Af) dalam bentuk tunggal dan kombinasi dua dan tiga cendawan dalam medium PDA. (A) kultur tunggal *F.o*, *T.a*, dan *A.f*. (B) Kultur ganda *T.a vs F.o*, *A.f vs F.o*, dan *T.a vs A.f* empat hari pasca inokulasi. Masing-masing cendawan saling menghambat dari jarak jauh. (C) Kultur ganda *T.a vs F.o* (saling menghambat), *A.f vs F.o* (saling menghambat), dan *T.a vs A.f* (saling bercampur). (D) Kultur rangkap tiga *T.a vs F.o vs A.f*, saling menghambat dari jarak jauh. (E) Kultur rangkap tiga *T.a vs F.o vs A.f*, *T.a* bercampur dengan *A.f* dan disisipkan diantara *F.o* dan *A.f*.

Interaksi yang melibatkan *F. oxysporum*, *T. asperellum*, dan kombinasinya terhadap *A. flavus* menunjukkan bahwa pertumbuhan miselium *A. flavus* terhambat, dengan penurunan berat segar miselium masing-masing sebesar 45,5%, 54,5%, dan 63,6%. Selain itu, kepadatan spora *A. flavus* menurun sebesar 74,6%, 57,4%, dan 67,2% pada kondisi yang sama. Penurunan berat segar dan kepadatan spora ini dengan adanya *F. oxysporum* dan/atau *T. asperellum* berbeda secara signifikan dibandingkan dengan penurunan berat segar dan kepadatan spora *A. flavus* saja.

Table 5.4. Berat Segar Miselium dan Kepadatan Spora *A. flavus* pada Berbagai Perlakuan Kultur Ganda di Media PDA

Perlakuan	Berat segar miselium (g)	Kepadatan spora (jumlah spora/g miselia)
<i>A. flavus</i>	2.20 ± 0.40 a	16.00 × 10 ⁷ ± 3.2 × 10 ⁷ a
<i>A. flavus</i> dengan <i>F. oxysporum</i>	1.20 ± 0.22 b	4.07 × 10 ⁷ ± 0.57 × 10 ⁷ b
<i>A. flavus</i> dengan <i>T. asperellum</i>	1.00 ± 0.18 bc	6.82 × 10 ⁷ ± 1.63 × 10 ⁷ b
<i>A. flavus</i> dengan <i>F. oxysporum</i> dan <i>T. asperellum</i>	0.80 ± 0.05 c	5.25 × 10 ⁷ ± 1.52 × 10 ⁷ b

Keterangan : Angka yang diikuti huruf yang tidak sama pada baris yang sama menunjukkan hasil yang berbeda nyata pada tingkat kepercayaan 5%, uji lanjut LSD ($p \leq 0,05$).

5.3.1.3 Penilaian molekul penginderaan kuorum, farnesol, dalam media kultur

Media yang digunakan untuk spesies cendawan *F. oxysporum*, *T. asperellum*, dan *A. flavus* menunjukkan konsentrasi farnesol yang lebih tinggi. Lebih lanjut, analisis kadar farnesol yang terdapat dalam media kultur *T. asperellum* ketika dikulturkan bersama dengan *A. flavus* menunjukkan bahwa konsentrasi farnesol dua kali lebih tinggi jika dibandingkan dengan kultur individual *F. oxysporum*, *T. asperellum*, dan *A. flavus*. Dapat dilihat pada tabel berikut ini (tabel 5.5)

Tabel 5.5. Kandungan farnesol pada media kultur *F. oxysporum*, *T. asperellum*, *Aspergillus flavus*, dan *T. asperellum* + *A. flavus*

Perlakuan	Kandungan Farnesol (mg/L)*
Kontrol	0,007
<i>Fusarium oxysporum</i>	0,013
<i>Trichoderma asperellum</i>	0,013
<i>Aspergillus flavus</i>	0,01
<i>T. asperellum</i> + <i>A. flavus</i>	0,026
*, Rata-rata dari dua pengukuran	

5.3.2 Pembahasan

Benih dan bibit bawang merah merupakan sumber inokulum untuk *F. oxysporum* yang menyebabkan kerugian di berbagai fase perkembangan, mulai dari pembibitan hingga penyimpanan pascapanen (Southwood dkk. 2015). Tingkat keparahan penyakit ini dipertegas dengan kerusakan hampir 100% pada benih tiga varietas bawang merah yang bersumber dari pusat penanaman bawang merah Brebes (Wiyono dkk. 2022). Studi kami menunjukkan bahwa gejala penyakit busuk pangkal batang pada bawang merah kontrol muncul satu minggu setelah tanam, membuktikan bahwa patogen tersebut ditularkan melalui benih. Situasi ini mengharuskan penerapan tindakan pencegahan untuk mengurangi dampak patogen.

Penambahan kompos ke dalam tanah dapat meningkatkan sifat biologis tanah, mendukung perkembangan biomassa dan memperkaya keragaman komunitas mikroba, (Garcia dkk. 2000; Hartmann dkk. 2015; Jaiswal dkk. 2017; Liu dkk. 2018; Vallad dkk. 2003). Oleh karena itu, kompos dapat mengendalikan patogen yang terdapat di dalam tanah dan jaringan tanaman. Beberapa penelitian menemukan bahwa kompos merupakan media pembawa yang efektif untuk *Trichoderma* (Joos dkk. 2020; Ratnawati dkk. 2020; Ismail dkk. 2020). Integrasi kompos dan *Trichoderma*, diketahui dapat mengurangi investasi *F. oxysporum* pada tanaman melon, buncis, dan bawang merah (López-Mondéjar dkk. 2010; Ismail dkk. 2020). *A. flavus* juga berperan penting dalam pengendalian penyakit ketika ditambahkan ke dalam kompos, meskipun dalam tingkat yang lebih rendah dibandingkan dengan *Trichoderma*. Penelitian telah menunjukkan bahwa beberapa spesies, termasuk *A. niger*, *A. flavus*, dan *A. terreus*, yang telah diisolasi

dari kompos, menunjukkan pengendalian yang efektif terhadap patogen busuk kering *Fusarium* pada kentang (Abdallah dkk. 2023). Temuan ini menggarisbawahi fungsi ganda kompos, yang tidak hanya berfungsi sebagai substrat yang kaya nutrisi tetapi juga sebagai media pendukung bagi perkembangbiakan dan efikasi spesies *Trichoderma* dan *Aspergillus* terhadap patogen yang menyerang tanaman bawang merah.

Temuan dalam penelitian ini menunjukkan bahwa penekanan penyakit busuk pangkal batang meningkat ketika *T. asperellum* diaplikasikan bersama *A. flavus* dalam media kompos. Penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa kombinasi *T.harzianum* dan *T.asperellum* terbukti efektif dalam mengendalikan penyakit padi yang disebabkan oleh patogen seperti *Alternaria padwickii*, *Curvularia lunata*, *Fusarium moniliforme*, dan *Bipolaris oryzae* (Kaewsalong dkk. 2019). Lebih lanjut, berbagai produk komersial telah dikembangkan menggunakan formulasi *Trichoderma* bersama spesies mikroba lainnya, termasuk *Arthrobacter*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Rhizobium*, *Beauveria*, *Metarhizium*, *Saccharomyces*, *Purpureocillium*, *Streptomyces*, *Agrobacterium radiobacter*, dan *Pochonia chlamydosporia* (Nunes dkk. 2024). Meskipun konsorsium mikroba ini telah menunjukkan kemampuan dalam mengendalikan berbagai patogen tanaman, mekanisme spesifik yang mendasari tindakan mereka belum dieksplorasi.

Penilaian yang mengkaji interaksi in vitro antara *F. oxysporum*, *T.asperellum*, dan *A. flavus*, menunjukkan bahwa pertumbuhan masing-masing spesies terhambat ketika terpapar satu sama lain dari jarak jauh. Namun, setelah interaksi ini, pertumbuhan miselium *T. asperellum* menunjukkan lintasan yang cepat, ditandai dengan perkembangan yang saling terkait dengan *A. flavus*. Interaksi ini berujung pada peningkatan biomassa miselium, menunjukkan hubungan antar cendawan yang kompleks. Selain itu, masing-masing spesies cendawan berkontribusi terhadap sekresi farnesol ke dalam media kultur. Fenomena interaksi ini tampaknya difasilitasi melalui mekanisme yang bergantung pada penginderaan QS

Sistem QS adalah komunikasi antarsel dalam mikroorganisme, dan molekul pensinyalan kecil yang dapat berdifusi. Setiap sel dapat mendeteksi konsentrasi total QSM yang ada dalam medium, setelah mencapai ambang batas, mengkoordinasikan ekspresi gen tertentu (Bandara dkk. 2012; Paul dkk. 2018). Sebelumnya ditemukan bahwa cendawan *T. asperellum* dan *A. flavus* mensekresikan QSM farnesol ke dalam medium, dan konsentrasinya berlipat ganda ketika dikultur ganda, menunjukkan bahwa keduanya berasosiasi. Pada *T. harzianum*, gen *dpp1* bertanggung jawab atas sintesis farnesol. Ekspresi berlebihan gen ini menghasilkan peningkatan signifikan dalam produksi farnesol (Cardoza dkk., 2022). *A. flavus* dapat menstimulasi ekspresi *dpp1*

selama interaksinya dengan *T. asperellum*, sehingga berkontribusi pada peningkatan kadar produksi farnesol. Selain itu, *A. flavus* juga dilaporkan memiliki oksilipin sebagai QSM (Barriuso dkk., 2018). Pada *Candida albicans*, farnesol dapat meningkatkan masking β -glukan dan kitin, terutama pada lingkungan ekstrem (Cottier dkk., 2019).

Temuan interaksi penginderaan kuorum ini menunjukkan bahwa efikasi *T. asperellum* dan *A. flavus* dalam mengendalikan busuk umbi pada bawang merah dapat bekerja melalui mekanisme langsung dan tidak langsung. Mekanisme langsung berkaitan dengan efek toksik farnesol itu sendiri, sedangkan mekanisme tidak langsung melibatkan mekanisme pertahanan pada bawang merah. Farnesol dapat bertindak sebagai agen sensitisasi, sehingga meningkatkan ekspresi gen pertahanan tanaman yang terkait dengan salisilat (Cardoza dkk. 2022).

5.4. Kesimpulan

Pengaplikasian kompos yang dikombinasikan dengan *Tasperellum* dan *A. flavus*, telah menunjukkan penurunan signifikan penyakit busuk pangkal yang disebabkan oleh *F.oxysporum* pada bawang merah dan peningkatan produktivitas bawang merah. Ko-kultivasi in vitro *T. asperellum* dengan *A. flavus* menghasilkan peningkatan massa miselium *T. asperellum* dan produksi farnesol. Peningkatan farnesol ini tampaknya berkorelasi dengan efek penghambatan langsung dan tidak langsung senyawa ini terhadap *F.oxysporum* secara in vivo.

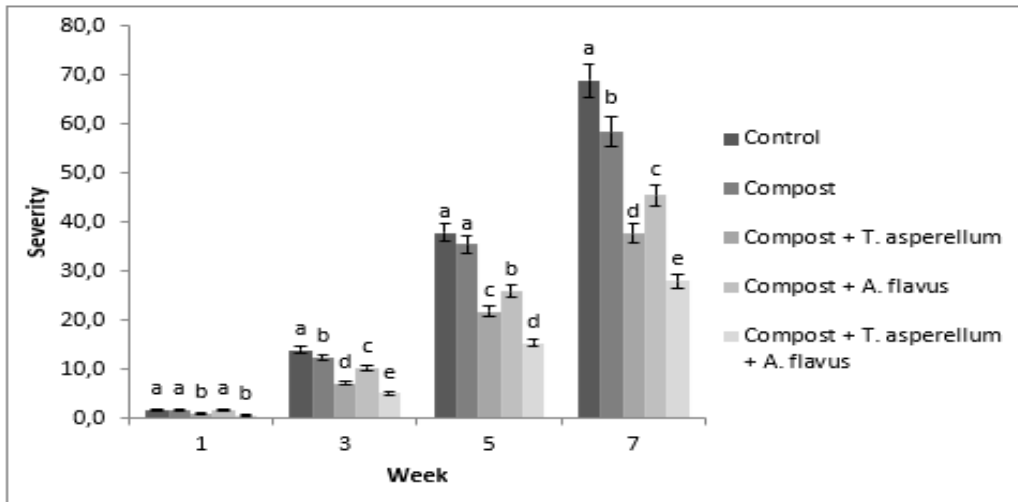
DAFTAR PUSTAKA

- Abdallah R.A.B, Marwa H., Jabnoun-Khiareddine H., Daami-Remadi M. (2023). Eksplorasi isolat *Aspergillus* spp. non-fitopatogenik yang diperoleh dari tanah dan kompos sebagai sumber potensial metabolit bioaktif untuk pengendalian busuk kering Fusarium pada kentang. *Jurnal Mikrobiologi Brasil* 54 : 1103–1113. <https://doi.org/10.1007/s42770-023-00925-3>
- Atallah O.O, Mazrou Y.S.A., Atia M.M., Nehela Y., Abdelrhim A.S, Nader M.M. (2022) Karakterisasi polifasik empat spesies *Aspergillus* sebagai agen pengendali hayati potensial untuk penyakit cendawan putih pada kacang. *J Fungi*. 8: 626. <https://doi.org/10.3390/jof8060626>
- Bandara H.M.H.N., Lam O.L.T., Jin L.J., Samaranyake L. (2012). Pensinyalan kimia mikroba: perspektif saat ini. *Kritik Rev Mikrobiol* 38: 217– 249.
- Barriusso J, Hogan D.A., Keshavarz T, Martinez MJ (2018). Peran penginderaan kuorum dan komunikasi kimia dalam bioteknologi dan patogenesis cendawan. *FEMS Microbiol Rev* 42: 627–638.
- Cardoza R.E, McCormick S.P., Martínez-Reyes N., Laura Lindo L., Mayo-Prieto S, Carro-Huerga G., Casquero P.A., Gutiérrez S. (2022). Pengaruh Farnesol pada Fisiologi Trichoderma dan Interaksi Cendawan-Tanaman. *J Cendawan* 8: 1266.
- Choi H.W., Ahsan S.M. (2022) Aktivitas biokontrol *Aspergillus terreus* ANU-301 terhadap dua penyakit tanaman yang berbeda, busuk pangkaltomat dan busuk lunak kentang. *Plant Pathol J* 38: 33-45.
- Conn E.K., Lutton J.S., Rosenberger SA (2012) Panduan Penyakit Bawang. Kesehatan Tanaman, 72 halaman
- Daigham G.E, Mahfouz, A.Y, Abdelaziz A.M., Nofel M.M., Attia M.S. (2023). Peran protektif cendawan pemacu pertumbuhan tanaman *Aspergillus chevalieri* OP593083 dan *Aspergillus egyptiacus* OP593080 sebagai pendekatan biokontrol terhadap penyakit bercak daun Alternaria pada tanaman Vicia faba. *Biomass Conv aBioref*. <https://doi.org/10.1007/s13399-023-04510-4>
- Dourou M., La Porta C.A.M. (2023) Sebuah jalur untuk menyelidiki interaksi cendawan-cendawan: Isolat Trichoderma terhadap cendawan yang berasosiasi dengan tumbuhan. *J Fungi* 9: 461. <https://doi.org/10.3390/jof9040461>
- Edy N., Anshary A., Lakani I, Anggara A.A., Zahlin N.H. (2023). Pengendalian hayati *Fusarium oxysporum* pada penyakit layu bawang merah menggunakan mikoriza arbuskula yang dikombinasikan dengan Trichoderma sp., Pseudomonas sp., dan Bacillus. *Prosiding Konferensi Interdisipliner Internasional ke-2 tentang Ilmu Lingkungan dan Pembangunan Berkelanjutan 2022, Lingkungan dan Pembangunan Berkelanjutan (ICESSD-ESD 2022), Kemajuan dalam Penelitian Ilmu Hayati* 36. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-334-4_23
- García-Gil J.C., Plaza C., Soler-Rovira P., Polo A (2000). Efek jangka panjang aplikasi kompos sampah kota terhadap aktivitas enzim tanah dan biomassa mikroba. *Soil Biol Biochem* 32: 1907–1913.
- Grainha T., Jorge P., Alves D., Lopes S.P., Pereira M.O. (2020). Mengungkap komunikasi Pseudomonas aeruginosa dan Candida albicans dalam skenario koinfeksi: Wawasan melalui analisis jaringan. *Front. Cell Infect Microbiol* 10: 550505. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2020.550505>

- Hadiwiyono, Sari K., Poromarto S.H. (2020). Kehilangan hasil akibat busuk pangkal batang (*Fusarium oxysporum* f.sp. *cepae*) pada beberapa varietas bawang merah. *Caraka Tani J Sustain Agric* 35: 250-257.<http://dx.doi.org/10.20961/carakatani.v35i2.26916>
- Hartmann M., Frey B., Mayer J., Mader P., Widmer F. (2015) Keragaman mikroba tanah yang berbeda pada pertanian organik dan konvensional jangka panjang. *ISME J* 9: 1177–1194.
- Jaiswal A.K., Elad Y., Paudel I., Graber E.R. Cytryn E., Frenkel O. (2017). Menghubungkan komposisi, keanekaragaman, dan aktivitas mikroba bawah tanah dengan penekanan penyakit tular tanah dan peningkatan pertumbuhan tomat yang diberi biochar. *Sci Rep* 7: 44382.
- Hiscox J., Baldrian P., Rogers H.J., Boddy L. (2010). Perubahan aktivitas enzim oksidatif selama interaksi miselium interspesifik yang melibatkan cendawan pelapuk putih *Trametes versicolor*. *Fungal Genet Biol* 47: 562–571. doi:10.1016/j.fgb.2010.03.007
- Ismail N., Rosmana A., Sjam S., Ratnawati R. (2020.) Pengendalian busuk umbi basal bawang merah melalui integrasi *Trichoderma asperellum*, sisa tanaman kompos dan mulsa alami. *J Pure Appl Mikrobiol* 14:1779-1788. <https://doi.org/10.22207/JPAM.14.3.16>.
- Jang J.Y., Choi Y.H., Shin T.S., Kim T.H., Shin K.S., Park H.W., Kim Y.H., Kim H., Choi G.J., Jang K.S. (2016). Pengendalian hayati *Meloidogyne incognita* oleh *Aspergillus niger* F22 penghasil asam oksalat. *PLoS ONE* 11: e0156230
- Jin N., Liu S.M., Peng H., Huang W.K., Kong L.A., Wu Y.H., Chen Y.P., Ge F.Y., Jian H., Peng D.L. (2019). Isolasi dan karakterisasi *Aspergillus niger* NBC001 yang mendasari supresi terhadap Heterodera Glycines. *Sci. Rep.* 9: 591.
- Joos L., Herren G.L., Couvreur M., Binnemans I., Oni F.E., Höfte M., Debode J., Bert W., Steel H. (2020). Kompos merupakan media pembawa *Trichoderma harzianum*. *Bio Kontrol* 65: 737–749.<https://doi.org/10.1007/s10526-020-10040-z>
- Kaewsalong N., Songkumarn P., Duangmal K., Dethoup T.. (2019.) Efek sinergis kombinasi galur baru spesies *Trichoderma* dan ekstrak *Coscinium fenestratum* dalam mengendalikan malai kotor pada padi. *J Plant Pathol* 101: 367–372. <https://doi.org/10.1007/S42161-018-0191-Y>.
- Lee H., Finckbeiner S., Yu J.S, Wiemer D.F, Eisner T., Attygalle A.B. (2007). Karakterisasi (E,E)-farnesol dan ester asam lemaknya dari kelenjar aroma dubur nutria (*Myocastor coypus*) menggunakan kromatografi gas-spektrometri massa dan kromatografi gas-spektrometri inframerah. *J Chromatog, A*, 1165: 136–143.
- Liu H., Xiong W., Zhang R., Hang X., Wang D., Li R., Shen Q. (2018). Aplikasi berbagai aditif organik secara berkelanjutan dapat menekan penyakit tomat dengan menginduksi mikrobiota rhizosfer yang sehat melalui perubahan mikroflora tanah secara keseluruhan. *Plant Soil* 423: 229–240.
- López-Mondéjar R., Bernal-Vicente A., Ros M., Tittarelli F., Canali S., Intrigiolo F., Pascual J.A. (2010). Pemanfaatan media tanam berbasis kompos jeruk yang diperkaya *Trichoderma harzianum* T-78 dalam produksi bibit *Cucumis melo* L.. *Bioresour Technol* 101:3718-372.
- Nunes P.S.O., Lacerda-Junior G.V., Mascarin G.M., Guimarães R.A., Medeiros F.H.V., Arthurs S, Bettiol W. (2024). Konsorsium mikroba produk biologis: Apakah mereka punya masa depan?. *Pengendalian Hayati* 188: 105439.
- Padder S.A., Prasad R., Shah A.B. (2018). Penginderaan kuorum: Mode komunikasi antar cendawan yang kurang dikenal. *Penelitian Mikrobiologi* 210: 51 – 58 <https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.03.007>.

- Paul D., Gopal J., Kumar M., Manikandan M. (2018). Alam untuk penyelamatan alam: Membungkam obrolan mikroba. *Chem Biol Interact* 280: 86–98. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2017.12.018>
- Perez L., Besoain X., Reyes M., Pardo G., Montealegre J. (2002) Ekspresi enzim hidrolitik dinding sel cendawan ekstraseluler pada berbagai isolat *Trichoderma harzianum* berkorelasi dengan kemampuannya mengendalikan *Pyrenochaeta lycopersici*. *Biol Res* 35: 401–410. <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-97602002000300014>
- Ratnawati R., Sjam S., Rosmana A., Tresnapura U.S. (2020). Spesies *Trichoderma* endofit asal bawang merah Lembah Palu dengan potensi pengendalian patogen bercak ungu *Alternaria porri*. *Intl J Agric Biol.* 22: 977–982. <http://www.fsublishers.org/10.17957/IJAB/15.1376>
- Santoyo G., Guzmán P., Parra-Cota F.I., Villalobos Sdl, Mosqueda M.D.C., Glick BR . (2021). Stimulasi pertumbuhan tanaman oleh konsorsium mikroba. *Agronomi* 11: 219. <https://doi.org/10.3390/agronomy1102021>.
- Schwartz H.F. dan Mohan S.K. (2008) Kompedium Penyakit dan Hama Bawang Merah dan Bawang Putih, edisi kedua. American Phytopathological Society, Press, St. Paul, Minnesota, AS. <https://doi.org/10.1094/9780890545003.002>
- Southwood M.J., Viljoen A., Mcleod A. (2015). Sumber inokulum *Fusarium oxysporum* f.sp. *cepae* pada bawang merah di Provinsi Western Cape, Afrika Selatan. *Perlindungan Tanaman* 75. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.05.014>
- Taufiq M, Rahmanta, Ayu S.F. (2021) Pengajuan dan penawaran bawang merah di Provinsi Sumatera Utara. *J Agrica* 14. <http://ojs.uma.ac.id/index.php/agrica/10.31289/agrica.v14i1.4759>
- Vallad G.E., Cooperband L., Goodman R.M. (2003). Penekanan penyakit daun tanaman yang dimediasi oleh sisa-sisa pabrik kertas yang dikomposkan menunjukkan ciri-ciri molekuler ketahanan yang diinduksi. *Physiol Mol Plant Pathol.* 63: 65–77.
- Viterbo A., Montero M., Ramot O., Friesem D., Monte E., Llobell A., & Chet I. (2002). Regulasi ekspresi *chit36* endochitinase dari *Trichoderma asperellum* (T. *harzianum* T-203).
- Wiyono S., Widodo, Khamidi T., Sobir, Suryaningsih A.S. (2022). Kombinasi Agen Biokontrol untuk Pengendalian Penyakit Bawang Merah di Lapangan. *J Fitopatol Indonesia* 18: 248–254. <https://doi.org/10.14692/jfi.18.6.248-254>
- Wu P.H., Chang H.X., Shen Y.M. (2023). Pengaruh fungisida sintesis dan ramah lingkungan terhadap pengendalian embun tepung dan mikrobioma filosfer mentimun. *PLoS ONE* 18: e0282809. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0282809>.

LAMPIRAN



Gambar 5.1. Diagram Intensitas serangan *F. oxysporum* pada perlakuan kombinasi (Kompos trichoderma engan *T. asperellum*, *A. flavus* Dan *T. asperellum*, dan *A. flavus*). Keterangan : Rata-rata intensitas penyakit pada setiap minggu yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda secara signifikan menurut LSD ($p \leq 0,05$). Batang vertikal menunjukkan deviasi standar rata-rata.

BAB VI PEMBAHASAN UMUM

Bawang merah merupakan komoditas hortikultura strategis yang permintaannya terus meningkat, baik untuk konsumsi pangan maupun potensinya dalam bidang kesehatan. Namun, peningkatan produksi secara nasional kerap terkendala oleh serangan OPT, khususnya penyakit busuk pangkalyang disebabkan oleh cendawan patogen *F.oxysporum* dan hama ulat bawang (*S. exigua*). Penyakit busuk pangkaldapat menyebabkan kerugian hasil hingga 80-100%, terutama jika infeksi terjadi sejak fase pembibitan (Basuki et al., 2017; Srivastava et al., 2018). Sementara itu, serangan *S.exigua* secara langsung merusak daun dan umbi, mengurangi kualitas dan kuantitas panen. Pengendalian konvensional yang bergantung pada pestisida sintesis menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan, kesehatan, dan keberlanjutan agroekosistem. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan pengendalian yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan. Penelitian ini berfokus pada pengembangan strategi pengendalian terpadu dengan memanfaatkan potensi agen hayati lokal, MacBio, dan modifikasi lingkungan budidaya (penggunaan kompos dan mulsa jerami padi). Pembahasan berikut akan menjabarkan temuan penelitian secara sistematis sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan, untuk menganalisis efektivitas dan sinergi dari berbagai komponen pengendalian tersebut baik secara in vitro maupun di lapangan.

6.1. Identifikasi dan Kemampuan Antagonis Cendawan Rhizosfer serta Sinergitasnya In Vitro

Produksi bawang merah nasional kerap terhambat oleh OPT, terutama penyakit busuk pangkal yang disebabkan oleh *F. oxysporum*. Patogen ini menyebabkan kehilangan 80–100% (Basuki et al., 2017; Srivastava et al., 2018; Kanwal et al., 2022), serta menghasilkan mikotoksin (Beccari et al., 2022; Yan et al., 2023). Pengendalian hayati dengan agen antagonis menjadi alternatif pengendalian yang ramah lingkungan (Musdalifa et al., 2017). Hasil analisis statistik penelitian ini menunjukkan bahwa isolat cendawan rhizosfer, khususnya *Aspergillus flavus* dan *Aspergillus niger*, secara nyata menghambat pertumbuhan *F.oxysporum* in vitro, dengan persentase penghambatan masing-masing mencapai 63% dan 65% pada hari ke-7. Mekanisme penghambatan ini didukung oleh kemampuan endofit dalam biokontrol langsung seperti mikoparasitisme, antibiosis, dan kompetisi, maupun secara tidak langsung dengan cara menginduksi ketahanan pada tanaman inang (de Lamo & Takken, 2020). Kemampuan genus *Aspergillus* dalam menghasilkan beragam metabolit sekunder antimikroba yang dapat mendukung peran antagonisnya (Jomori et al., 2020; Wei et al., 2022)

6.2. Kemampuan MacBio dalam Menghambat *F. oxysporum* dan Cendawan Antagonis In Vitro

Penggunaan ekstrak tanaman sebagai fungisida nabati merupakan alternatif pengendalian lain. Ekstrak MacBio yang diuji menunjukkan efek penghambatan yang meningkat seiring konsentrasi terhadap *F. oxysporum*. Penghambatan terendah (22%) pada konsentrasi 2,5% dan tertinggi (86%) pada konsentrasi 7%. Efektivitas ini diduga berasal dari senyawa bioaktif seperti fenolik yang memiliki sifat antimikroba yang kuat (Kursa et al., 2022; Mutlu-Ingok et al., 2022). Kombinasi potensial antara ekstrak tanaman dan *Aspergillus flavus* dapat saling memperkuat melalui pemanfaatan kandungan bioaktif dan produksi metabolit sekunder antimikroba.

6.3 Perlakuan Kombinasi Kompos, Mulsa Jerami, MacBio, dan Cendawan Antagonis di Lapangan terhadap *S. exigua* dan *F.oxysporum*

Aplikasi kombinasi di lapangan terbukti efektif menekan populasi hama dan perkembangan penyakit.

- i. Terhadap *S. exigua*: Perlakuan kontrol menunjukkan populasi kelompok telur dan larva serta intensitas serangan tertinggi. Perlakuan kombinasi, khususnya P7 (Kompos + Mulsa + MacBio3 + *A. flavus*7), mencatatkan populasi larva dan intensitas serangan terendah (13,54%), tidak berbeda nyata dengan perlakuan petani (12,28%). Hal ini membuktikan bahwa kombinasi kompos, mulsa, MacBio, dan *A. flavus* mampu menekan serangan ulat bawang.
- ii. Terhadap *F. oxysporum* (Penyakit Layu): Perlakuan kontrol (P0) menunjukkan intensitas penyakit tertinggi (62,65%). Perlakuan P3 merupakan yang paling efektif menekan penyakit dengan intensitas terendah (37,59%). Perlakuan lain seperti P7 (38,92%) dan P4 (45,57%) juga menunjukkan efektivitas yang signifikan dibandingkan kontrol. Temuan ini mengonfirmasi bahwa kombinasi cendawan antagonis (*A. flavus*) dengan MacBio dan komponen budidaya lain mampu menekan penyakit busuk pangkal.
- iii. Terhadap *Alternaria porri*: Pola serupa terlihat pada penyakit bercak ungu, di mana perlakuan kombinasi P7 menghasilkan intensitas penyakit mendekati nol (0,07%), jauh lebih rendah dibandingkan kontrol (2,87%) dan perlakuan petani (0,39%).

Secara keseluruhan, data dari minggu ke-1 hingga ke-7 menunjukkan bahwa pendekatan terpadu (kombinasi) memberikan perlindungan yang lebih stabil dan berkelanjutan, terutama pada fase kritis tanaman (minggu ke-5 hingga ke-7). Hal ini sejalan dengan penelitian Savitha & Ajithkumar (2014) dan Ara et al. (2021) yang

menyatakan bahwa integrasi multi-taktik (bahan organik, agen hayati, ekstrak botani) menghasilkan penekanan penyakit tertinggi dan peningkatan hasil secara konsisten.

6.4. Perlakuan Kombinasi Ekstrak MacBio dan Mulsa Jerami terhadap *S. exigua* dan Musuh Alami

Kombinasi ekstrak MacBio dan mulsa jerami padi efektif menurunkan populasi larva dan intensitas serangan *S. exigua*. Perlakuan P2 (Mulsa + Ekstrak3) secara konsisten menunjukkan hasil terbaik. Mekanisme kerjanya meliputi:

- a. Efek Ekstrak Tumbuhan: Senyawa metabolit dalam ekstrak dapat menurunkan kemampuan makan larva.
- b. Efek Mulsa Jerami: Menghalangi siklus hidup pra-pupa dan pupa di dalam tanah, serta melestarikan populasi musuh alami.

Aplikasi kombinasi ini meningkatkan populasi musuh alami, seperti famili *Coccinellidae*, *Araneae*, *Zygoptera*, dan *Paederinae*. Mulsa jerami menyediakan habitat serta menjaga kelembapan yang mendukung keberadaan predator (Rahim, 2019). Hingga saat ini diketahui bahwa laba-laba dan semut efektif memangsa telur dan larva *S. exigua* (Cambaba Sunarti, 2011; Nursyirman, 2013; Sumayanti, 2021), sehingga peningkatan populasi predator berkontribusi pada pengendalian hama.

6.5. Perlakuan Kombinasi *T. asperellum*, *A. flavus*, dan Kompos terhadap Cendawan Patogen *F. oxysporum*

Penekanan penyakit busuk pangkal batang meningkat ketika *T.asperellum* diaplikasikan bersama *A. flavus* dalam media kompos. Efektivitas kombinasi mikroba antagonis ini didukung oleh penelitian lain, seperti kombinasi *Trichoderma* spp. yang efektif mengendalikan berbagai patogen (Kaewsalong dkk., 2019), serta formulasi komersial yang menggabungkan *Trichoderma* dengan mikroba lain (Nunes dkk., 2024). Mekanisme kerjanya diduga melalui jalur langsung dan tidak langsung. Jalur langsung melibatkan senyawa antimikroba seperti farnesol yang bersifat toksik. Jalur tidak langsung melibatkan penginduksian mekanisme pertahanan tanaman bawang merah melalui peningkatan ekspresi gen yang terkait dengan jalur pertahanan seperti salisilat (Cardoza dkk., 2022) Dengan demikian, Integrasi berbagai komponen pengendalian hayati (cendawan antagonis rhizosfer seperti *A. flavus* dan *T. asperellum*, MacBio dengan kompos dan mulsa jerami padi terbukti efektif menciptakan pengendalian yang sinergis dan berkelanjutan terhadap penyakit busuk pangkaldan *S.exigua* pada tanaman bawang merah. Pendekatan terpadu ini tidak hanya menekan OPT tetapi juga mendukung keberlanjutan agroekosistem melalui pelestarian musuh alami.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul, A. A., Henny, S., & Nur, I. (2019). Interaction of physiology character-secondary metabolic of fusarium oxysporum on tomatoes of basal rotsymptom. *Materials Science Forum*, 967 MSF, 95–100. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.967.95>
- Adhi, S. R., & Suganda, T. (2020). Potensi cendawan rhizosfer bawang merah dalam menekan Fusarium oxysporum f.sp. cepae, penyebab penyakit busuk umbi bawang merah. *Kultivasi*, 19(1), 1015. <https://doi.org/10.24198/kultivasi.v19i1.22877>
- Ahmad, W. (2020). Preliminary phytochemical, antimicrobial and photochemical study of *Calotropis gigantea* leaf extract. *Current Chemistry Letters*. <https://doi.org/10.5267/j.ccl.2019.10.001>
- Ainy, E. Q., Ratnayani, R., & Susilawati, L. (2015). Uji Aktivitas Antagonis *Trichoderma Harzianum* 11035 Terhadap *Colletotrichum capsici* TCKR2 dan *Colletotrichum acutatum* TCK1 Penyebab Antraknosa pada Tanaman. *Jurnal Biologi*, 892–897
- Aktar, M. T., Hossain, K. S., & Bashar, M. A. (2014). Antagonistic potential of rhizosphere fungi against leaf spot and fruit rot pathogens of brinjal. *Bangladesh Journal of Botany*, 43(2), 213–217. <https://doi.org/10.3329/bjb.v43i2.21675>
- Amaria, W., Harni, R., & Samsudin. (2015). Evaluasi Cendawan Antagonis Dalam Menghambat Pertumbuhan *Rigidoporus microporus* Penyebab Penyakit Cendawan Akar Putih Pada Tanaman Karet Evaluation Of Antagonistic Fungi In Inhibiting The Growth Of *Rigidoporus microporus* Causing White Root Disease In Rubber Pla. *J. Tidp*, 2(1), 51– 60.
- Ambar, A. A., Syam, A., Setyawati, H., & Ilmi, N. (2015). The Effect of Fusaric Acid Application on the Lignin and Suberin Formation as Resistance Indicator on Tomato. *International Journal of Agriculture System*, 3(1), 59–64.
- Aprialty, A. S., Sjam, S., Dewi, V. S., & Agustina, Y. E. (2021). The synergy of *Calotropis gigantea* and *Cresscentia cujete* plant extracts as an inhibitor of egg hatching and antifeedant against *Spodoptera frugiperda*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 807(2). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/807/2/022086>
- Apriyani, S., P.M. Azzumar, & S. Wahyuni. (2021). Keragaman Hama pada Pertanaman Bawang Merah (*Allium ascalonicum* L.) di Kabupetan Pati. *Jurnal Litbang Provinsi Jawa Tengah* 19(1): 13 – 20.
- Arie Ramadhina, A. R., Lisnawita, L., & Lubis, L. (2013). Penggunaan Cendawan Antagonis *Trichoderma* Sp. Dan *Gliocladium* Sp. Untuk Mengendalikan Penyakit Busuk pangkal Pada Tanaman Bawang Merah (*Allium Ascalonicum* L.). *Jurnal Agroekoteknologi Universitas Sumatera Utara*, 1(3), 95317.
- Armila, Z., Ambar, A. A., Ilmi, N., Harsani, & Rahim, I. (2019). Potensi Cendawan *Trichoderma* sp Dalam Pengendalian *Phytophthora palmivora* Secara In Vitro. *Prosiding Seminar Nasional 2019*, 2, 26–27.
- Arannilewa, S. T., Ekrakene, T., & Akinneye, J. O. (2006). Laboratory evaluation of four medicinal plants as protectants against the maize weevil, *Sitophilus zeamais* (Mots). *African Journal of Biotechnology*, 5(21), 2032–2036.
- Azis Ambar, A., Priyatmojo, A., Hadisutrisno, B., & Pusposendjojo, D. N. (2010). Virulensi 9 isolat fusarium oxysporum f.sp. Lycopersici dan perkembangan gejala busuk pangkal pada dua varietas tomat di rumah kaca. *Agrin*, 14(2), 89–96.
- Azniza, V. (2014). *Sistem Konvensional Dan Organik Dan Potensinya Sebagai*. 14(1), 16–24.

- Aswini, A., Sharmila, T., Raaga, K., R, S. D., & Krishna, M. S. R. (2016). In vitro antifungal activity of Trichoderma strains on pathogenic fungi inciting hot pepper (*Capsicum annum* L.). *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 8(4), 425–430
- Barakat, F. M., Abada, K. A., Abou-Zeid, N. M., & El-Gammal, Y. H. E. (2014). Effect of Volatile and Non-Volatile Compounds of Trichoderma spp. on Botrytis Fabae the Causative Agent of Faba Bean Chocolate Spot. *American Journal of Life Sciences*, 2(6), 11. <https://doi.org/10.11648/j.ajls.s.2014020602.12>
- Basuki, R. S., Khaririyatun, N., & Sembiring, A. (2017). Studi Adopsi Varietas Bawang Merah Bima Brebes dari Balitsa di Kabupaten Brebes (Adoption Study of Bima Brebes Shallot from IVEGRI in Brebes District). *J.Hort.*, 27(2), 261–268.
- Berliana, I., & Nugroho, S. A. (2013). Potensi Ekstrak Buah Maja (*Aegle marmelos* (L) Corr.) Sebagai Fungisida Nabati Penyakit Cendawan Akar Putih (*Rigidoporus microporus*). *Prosiding Seminar Nasional Pertanian Peternakan Terpadu* 2, 1904, 163–171.
- Cook R.J., & Baker K.F. (1983). The nature and practice of biological kontrol of plant patogens. *The American Phytopathological Society*, St. Paul, Minnesota 539 p.
- Dai, C. C., Yu, B. Y., & Li, X. (2008). Screening of endophytic fungi that promote the growth of *Euphorbia pekinensis*. *African Journal of Biotechnology*, 7(19), 3505–3510.
- Darmanto, I. W., Supriyatdi, D., & Sudirman, A. (2019). Pengendalian Ulat grayak Spodoptera litura F.) dengan Ekstrak Ubi Gadung dan Ekstrak Buah Maja (Armyworm [Spodoptera litura F.] Management using Dioscorea Tuber and Aegle Fruit Extract). *Jurnal Agro Industri Perkebunan*, 7(1), 23–30.
- Das, B. B., & Dkhar, M. S. (2011). Rhizosphere Microbial Populations and Physico Chemical Properties as Affected by Organic and Inorganic Farming Practices. & *Environ. Sci*, 10(2), 140–150.
- Dubey, N. K., Srivastava, B., & Kumar, A. (2008). Current Status of Plant Products as Botanical Pesticides in storage pest management. *Biopesticides*, 1(2), 182–186.
- Fety, Khotimah, S., & Mukarlina. (2015). Uji Antagonis Cendawan Rhizosfer Isolat Lokal terhadap Phytophthora sp. yang Diisolasi dari Batang Langsung (*Lansium domesticum* Corr.). *Jurnal Protobion*, 4(1), 218–225.
- Forte, F. P., Schmid, J., Dijkwel, P. P., Nagy, I., Hume, D. E., Johnson, R. D., Simpson, W. R., Monk, S. M., Zhang, N., Sehrish, T., & Asp, T. (2020). Fungal Endophyte Colonization Patterns Alter Over Time in the Novel Association Between *Lolium perenne* and *Epichloë* Endophyte AR37. *Frontiers in Plant Science*, 11(October), 1– 10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.570026>
- Hadiwiyono, Sudadi & Claudia, S.S. (2014). Cendawan Pelarut Fosfat untuk Menekan Penyakit Moler (*F. oxysporum* f. sp. *cepae*) dan Meningkatkan Pertumbuhan Bawang Merah. *Journal of Soil Science and Agroclimatology* 11(2): 130 – 138.
- Handelsman, J., & Stabb, E. V. (1996). Biokontrol of soilborne plant pathogens. *Plant Cell*, 8(10), 1855–1869. <https://doi.org/10.1105/tpc.8.10.1855>
- Hasanuddin. (2013). *Prosiding Seminar Nasional 2013, Pekanbaru. November*, 26–31.
- Hasiani, V. V., Ahmad, I., & Rijai, L. (2015). Isolasi Cendawan Endofit dan Produksi Metabolit Sekunder Antioksidan dari Daun Pacar (*Lawsonia inermis* L.). *Jurnal Sains Dan Kesehatan*, 1(4), 146–153. <https://doi.org/10.25026/jsk.v1i4.32>
- Hutabalian, M., Pinem, M., & Oemry, S. (2015). Uji Antagonisme Beberapa Cendawan Saprofit Dan Endofit Dari Tanaman Pisang Terhadap *Fusarium Oxysporum* F.Sp. *Cubens* Di Laboratorium. *Jurnal Agroekoteknologi Universitas Sumatera Utara*, 3(2), 104451.
- Jeyaseelan, E., Tharmila, S., & Niranjana, K. (2012). Antagonistic activity of Trichoderma spp. and Bacillus spp. against *Pythium aphanidermatum* isolated from tomato damping off. *Archives of Applied Science Research*, 4(4), 1623–1627.

- Juwanda, M., Khotimah, K., & dan Amin, M. (2016). Peningkatan Ketahanan Bawang Merah Terhadap Penyakit Busuk pangkal Melalui Induksi Ketahanan Dengan Asam Salisilat Secara Invitro. *Agrin*, 20(1), 15–28.
- Kardinan, A. (2011). Penggunaan Pestisida Nabati Sebagai Kearifan Lokal Dalam Pengendalian Hama Tanaman Menuju Sistem Pertanian Organik. *Pengembangan Inovasi Pertanian*, 4(4), 262–278. file:///C:/Users/MUTI/AppData/Local/MendeleyLtd./Mendeley Desktop/Downloaded/Menuju, Pertanian - 2011 - Kearifan Lokal Dalam Pengendalian Hama.pdf
- Kedang, V. M. K., Rianto, R. A., Al Kholik, I. A., & Hadi, U. K. (2020). Uji Potensi Ekstrak Daun Biduri (*Calotropis gigantea*) sebagai Akarisida terhadap Investasi Gurem (*Ornithonyssus bursa*) pada Ayam Buras. *Jurnal Medik Veteriner*. <https://doi.org/10.20473/jmv.vol3.iss2.2020.208-215>
- Kurniati, A., & Ali, M. (2018). Isolasi dan Uji Antagonis Cendawan Asal Rhizosfer Tanaman Bawang Merah (*Allium ascalonicum* L.) Terhadap *Alternaria porri* Ellis Cif. *JOM Faperta UR*, 5(1), 1–9.
- Latifah, A., Kustantinah, ., & Soesanto, L. (2011). Pemanfaatan Beberapa Isolat *Trichoderma harzianum* Sebagai Agen Pengendali Hayati Penyakit Busuk pangkal Pada Bawang Merah In Planta. *Eugenia*, 17(2), 86–95. <https://doi.org/10.35791/eug.17.2.2011.4105>
- Lenc, L., Kwasna, H., Jeske, M., Jonczyk, K., & Sadowski, C. (2016). Fungal pathogens and antagonists in root-soil zone in organic and integrated systems of potato production. *Journal of Plant Protection Research*, 56(2), 167–177. <https://doi.org/10.1515/jppr-2016-0029>
- Lestari, F., & Wida D. (2014). Uji Efikasi Ekstrak Daun dan Biji Tanaman Suren, Mimba, dan Sirsak terhadap Mortalitas Hama Ulat Gaharu. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman* 11(3): 165 – 171.
- Mandepudi, B. (2013). *Experimental Studies on Antioxidant Properties of Calotropis gigantea Solvent Extracts*. May.
- Marsadi, D., Supartha, I. W., & Sunari, A. A. A. S. (2017). Invasi dan Tingkat Serangan Ulat Bawang (*Spodoptera exigua* Hubner) pada Dua Kultivar Tanaman Bawang Merah di Desa Songan, Kecamatan Kintamani, Kabupaten Bangli. *Jurnal Agroekoteknologi Tropika*, 6(4), 360–369. <https://ojs.unud.ac.id/index.php/JAT>
- Mejía, L. C., Rojas, E. I., Maynard, Z., Bael, S. Van, Arnold, A. E., Hebbbar, P., Samuels, G. J., Robbins, N., & Herre, E. A. (2008). Endophytic fungi as biokontrol agents of *Theobroma cacao* pathogens. *Biological Kontrol*, 46(1), 4–14. <https://doi.org/10.1016/j.biokontrol.2008.01.012>
- Moekasan, T. K., Setiawati, W., Hasan, F., Runa, R., & Somantri, A. (2013). Penetapan Ambang Pengendalian Spodoptera exigua pada Tanaman Bawang Merah Menggunakan Feromonoid Seks. *Jurnal Hortikultura*, 23(1), 80. <https://doi.org/10.21082/jhort.v23n1.2013.p80-90>
- Musdalifa, Ambar, A. A., & Putera, M. I. (2017). Pemanfaatan Agen i Hayati Dalam Mengendalikan Pertumbuhan Perakaran Dan Penyakit Busuk pangkal Cabai Besar (*Capsicum annum* L) Utilization of biological agencies in kontrolling root growth and basal rotin chili (*Capsicum annum* L). *Jurnal Galung Tropika*, 6(3), 224–233.
- Nagamani, P., Bhagat, S., Biswas, M. K., & Viswanath, K. (2017). Effect of Volatile and Non Volatile Compounds of *Trichoderma* spp. against Soil Borne Diseases of Chickpea. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(7), 1486–1491. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.607.177>

- Noviyanty, Y., Hepiyansori, & Agustian, Y. (2020). Identifikasi dan penetapan kadar senyawa tanin pada kstrak daun biduri (*Calotropis gigantea*) metode spektrofotometri UV-Vis. *Jurnal Ilmiah Manuntung*, 6(1), 57–64. http://jurnal.akfarsam.ac.id/index.php/jim_akfarsam/article/view/307
- Nurani, A. R., Sudiarta, I. P., & Darmiati, N. N. (2018). Uji Efektifitas Cendawan *Beauveria bassiana* Bals . terhadap Ulat Grayak (*Spodoptera litura* F .) pada Tanaman Tembakau. *Jurnal Agroekoteknologi Tropika*, 7(1), 11–23.
- Nurbailis, N., Martinius, M., & Azniza, V. (2014). Keanekaragaman Cendawan Pada Rhizosfer Tanaman Cabai Sistem Konvensional Dan Organik Dan Potensinya Sebagai Agen Pengendali Hayati *Colletotrichum gloeosporioides*. *Jurnal Hama Dan Penyakit Tumbuhan Tropika*, 14(1), 16–24. <https://doi.org/10.23960/j.hptt.11416-24>
- Nusyirwan. (2013). Studi Musuh Alami (*Spodoptera Exigua* Hbn) pada Agroekosistem Tanaman Bawang Merah. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, 13(1), 33–37.
- Ozyigit, I. I., Kahraman, M. V., & Ercan, O. (2007). Relation between explant age, total phenols and regeneration response in tissue cultured cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *African Journal of Biotechnology*, 6(1), 003–008.
- Paparang, M., Memah, V. V., & Kaligis, J. B. (2016). Populasi Dan Persentase Serangan Larva *Spodoptera Exigua* Hubner Pada Tanaman Bawang Daun Dan Bawang Merah Di Desa Ampreng Kecamatan Langowan Barat. *Cocos*, 7(7), 1–10.
- Prakash, P., & Karthick Raja Namasivayam, S. (2014). Screenig of bioactive compounds by Gc-MS from *fusarium venenatum*. *International Journal of PharmTech Research*, 6(6), 1833–1837.
- Purwantisari, S.-, & Hastuti, R. B. (2012). Isolasi dan Identifikasi Cendawan Indigenous Rhizosfer Tanaman Kentang dari Lahan Pertanian Kentang Organik di Desa Pakis, Magelang. *Bioma : Berkala Ilmiah Biologi*, 11(2), 45. <https://doi.org/10.14710/bioma.11.2.45-53>
- Putri, W. K., Khotimah, S., & Linda, R. (2015). Cendawan Rhizosfer Sebagai Agen Antagonis Pengendali Penyakit Lapuk *Fusarium* Pada Batang Tanaman Karet (*Hevea brasiliensis* MuellArg). *Jurnal Protobiont*, 4(3), 14–18.
- Rahayu, M. (2013). Ragam penyakit tular tanah pada tanaman aneka kacang dan strategi pengendalian non kimiawi. *Prosiding Seminar Hasil Penelitian Tanaman Aneka Kacang Dan Umbi*, 816–830.
- Rahmad Bernadip Bayu, at all. (2014). Keanekaragaman Cendawan dan Bakteri Rhizosfer Bawang Merah Terhadap Patogen Moler. *Sains Tanah-Jurnal Ilmu Tanah Dan Agroklimatologi*, 11(1), 52–60.
- Rismayani. (2013). Manfaat Buah Maja Sebagai Pestisida Nabati Untuk Hama Penggerek Buah Kakao (*Conopomorpha cramerella*). *Warta Penelitian Dan Pengembangan Tanaman Industri*, 19(3), 1–3.
- Saenong, M. S. (2017). Tumbuhan Indonesia Potensial sebagai Insektisida Nabati untuk Mengendalikan Hama Kumbang Bubuk Jagung (*Sitophilus* spp.). *Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Pertanian*, 35(3), 131. <https://doi.org/10.21082/jp3.v35n3.2016.p131-142>
- Safrida, Rosa Mardiana, & Husna, N. (2021). Uji Efek Anti Fungi Ekstrak Daun Biduri (*Calotropis gigantea* L.) Terhadap Pertumbuhan Cendawan *Trichophyton mentagrophytes*. *Pharmauho: Jurnal Farmasi, Sains, Dan Kesehatan*, 7(1), 17. <https://doi.org/10.33772/pharmauho.v7i1.13841>
- Santoso, S. E., & Soesanto, L. (2012). Penekanan Hayati Penyakit Moler Pada Bawang Merah Dengan *Trichoderma Harzianum*, *Trichoderma Koningii*, Dan *Pseudomonas Fluorescens* P60. *Jurnal Hama Dan Penyakit Tumbuhan Tropika*, 7(1), 53–61.

- Schröder, P., & Hartmann, A. (2003). New developments in rhizosphere research. *Journal of Soils and Sediments*, 3(4), 227. <https://doi.org/10.1007/BF02988661>
- Suprapti, S., Djarwanto, D., & Komarayati, S. (2018). Pemanfaatan Sisa Media Cendawan Pelapuk Pada Dekomposisi Limbah Padat Pulp Acacia mangium. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 35(4), 243–254. <https://doi.org/10.20886/jphh.2017.35.4.243-254>
- Supriadi. (2013). Optimasi Pemanfaatan Beragam Jenis Pestisida Untuk Mengendalikan Hama Dan Penyakit Tanaman. *Jurnal Litbang Pertanian*, 32(1), 1–9.
- Suryaningsih, E., & Hadisoeganda, W. W. (2014). *Pestisida botani untuk mengendalikan hama dan penyakit pada tanaman sayuran*.
- Suriani, A. Sebayang, H. Mirsam, S. Pakki, M. Azrai & A. Muis (2021), Kontrol of Fusarium verticillioides on corn with a combination of Bacillus subtilis TM3 formulation and botanical pesticides.
- Susanti, D., Mulyadi, & Wiyatiningsih, S. (2016). Karakterisasi Isolat-Isolat Fusarium oxysporum f.sp. cepae Penyebab Penyakit Moler Pada Bawang Merah Dari Daerah Nganjuk Dan Probolinggo. *Plumula*, 5(2), 153–160.
- Tambingsila, M. (2016). Identifikasi dan uji efektivitas cendawan rhizosfer tanaman kakao sebagai antagonis pengendali (*Phytophthora palmivora* B.) penyebab busuk buah kakao. *Jurnal Agropet*, 13(1), 12–23.
- Tarjoko, T., & Mujiono, M. (2021). Aplikasi Pestisida Nabati Maja - Gadung dan Metabolit Sekunder Beauveria Bassiana Bals. Untuk Mengendalikan Hama Thrips Sp. Pada Tanaman Cabai Rawit. *Proceedings Series on Physical & Formal Sciences*, 2, 187–193. <https://doi.org/10.30595/pspts.v2i.179>
- Triwidodo, H., & Tanjung, M. H. (2020). Hama Penyakit Utama Tanaman Bawang Merah (*Allium Ascalonicum*) dan Tindakan Pengendalian di Brebes, Jawa Tengah. *Agrovigor: Jurnal Agroekoteknologi*, 13(2), 149–154. <https://doi.org/10.21107/agrovigor.v13i2.7131>
- Tukiran, Pramudya, A., Wardana, Nurlaila, E., Santi, A. M., & Hidayati, N. (2016). Analisis Awal Fitokimia pada Ekstrak Metanol Kulit Batang Tumbuhan Syzygium (*Myrtaceae*). *Prosiding Seminar Nasional Kimia Dan Workshop, September*, 2–8.
- Tyśkiewicz, R., Nowak, A., Ozimek, E., & Jaroszuk-ściseł, J. (2022). Trichoderma: The Current Status of Its Application in Agriculture for the Biokontrol of Fungal Phytopathogens and Stimulation of Plant Growth. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(4). <https://doi.org/10.3390/ijms23042329>
- Vega, F. E., Posada, F., Catherine Aime, M., Pava-Ripoll, M., Infante, F., & Rehner, S. A. (2008). Entomopatogenic fungal endophytes. *Biological Kontrol*, 46(1), 72–82. <https://doi.org/10.1016/j.biokontrol.2008.01.008>
- Widiantini, F., Nasahi, C., Yulia, E., & Noviyawati, S. (2018). Potensi Metabolit Sekunder Asal Bakteri Endofit dalam Menekan Pertumbuhan Miselium Ganoderma boninense. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*, 14(3), 104. <https://doi.org/10.14692/jfi.14.3.104>
- Waterhouse, A. 1999. *Follin-Ciocalteau Micro Method for Total Phenol in Wine*. <https://waterhouse.ucdavis.edu/folin-ciocalteau-micro-method-total-phenol-wine> 9/04/2022
- Witono, Y. (2008). Deklorofilasi Ekstrak Protease Dari Tanaman Biduri (*Calotropis gigantea*) Dengan Absorban Celite. *Berkala Penelitian Hayati*. <https://doi.org/10.23869/bphjbr.13.2.20084>

BAB VII KESIMPULANAN UMUM

Berdasarkan seluruh rangkaian dan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan umum sebagai berikut:

1. Berdasarkan penelitian tahap 1, diperoleh isolat cendawan antagonis dari rhizosfer bawang merah, yaitu *A. flavus* dan *A. niger*, yang paling unggul dalam menghambat pertumbuhan *F. oxysporum* secara in vitro dengan efektivitas yang setara dan MacBio memiliki daya hambat terhadap perkembangan *F. oxysporum*, namun tidak menghambat perkembangan cendawan antagonis *Aspergillus flavus* secara in vitro. Hal ini menunjukkan potensi sinergi antara keduanya.
2. Data penelitian tahap 2 membuktikan bahwa aplikasi kombinasi ekstrak MacBio, cendawan antagonis *A. flavus*, kompos, dan mulsa jerami secara signifikan dapat menekan intensitas serangan hama *S. exigua* (populasi larva dan kelompok telur) serta penyakit busuk pangkal (*F. oxysporum*) dan bercak ungu (*A. porri*) pada tanaman bawang merah di lapangan.
3. Penelitian tahap 3 mengkonfirmasi bahwa kombinasi ekstrak MacBio dan mulsa jerami padi tidak hanya efektif menekan populasi dan intensitas serangan *S. exigua*, tetapi juga mampu menarik dan meningkatkan populasi musuh alami di lapangan.
4. Data dari penelitian tahap 4 menunjukkan bahwa aplikasi kombinasi kompos dengan cendawan antagonis *T. asperellum* dan *A. flavus* secara sinergis mampu menekan intensitas penyakit busuk pangkal batang yang disebabkan oleh *F. oxysporum* pada tanaman bawang merah.

Secara keseluruhan, integrasi berbagai komponen pengendalian hayati (*A. flavus*, *T. asperellum*, dan MacBio) dengan kompos dan mulsa jerami padi terbukti menciptakan efek sinergis yang efektif dan berkelanjutan dalam mengendalikan hama *S. exigua* dan penyakit utama (*F. oxysporum*, *A. porri*) pada bawang merah, sekaligus mendukung kelestarian agroekosistem.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdallah R.A.B., Marwa H., Khiareddine H, Daami-Remadi M (2023). Eksplorasi isolat *Aspergillus* spp. non-fitopatogenik yang diperoleh dari tanah dan kompos sebagai sumber potensial metabolit bioaktif untuk pengendalian busuk kering Fusarium pada kentang. *Jurnal Mikrobiologi Brasil* 54 : 1103–1113. <https://doi.org/10.1007/s42770-023-00925-3>
- Atallah O.O. Mazrou Y.S.A., Atia M.M., Nehela Y., Abdelrhim A.S., Nader M.M. (2022) Karakterisasi polifasik empat spesies *Aspergillus* sebagai agen pengendali hayati potensial untuk penyakit cendawan putih pada kacang. *J Fungi* 8: 626. <https://doi.org/10.3390/jof8060626>
- Bandara H.M.H.N., Lam O.L.T, Jin L.J., Samaranyake L (2012). Pensinyalan kimia mikroba: perspektif saat ini. *Kritik Rev Mikrobiol* 38: 217– 249.
- Barriusso J., Hogan D.A., Keshavarz T., Martínez M.J. (2018). Peran penginderaan kuorum dan komunikasi kimia dalam bioteknologi dan patogenesis cendawan. *FEMS Microbiol Rev* 42: 627–638.
- Cardoza R.E., McCormick S.P., Martínez-Reyes N., Lindo L., Prieto S., Huerga G, Casquero P.A., Gutiérrez S. (2022). Pengaruh Farnesol pada Fisiologi Trichoderma dan Interaksi Cendawan-Tanaman. *J Cendawan* 8: 1266.
- Choi H.W. & Ahsan S.M. (2022) Aktivitas biokontrol *Aspergillus terreus* ANU-301 terhadap dua penyakit tanaman yang berbeda, busuk pangkaltomat dan busuk lunak kentang. *Plant Pathol J* 38: 33-45.
- Conn E.K., Lutton J.S., Rosenberger S.A. (2012) Panduan Penyakit Bawang. Kesehatan Tanaman, 72 halaman
- Daigham G.E., Mahfouz A.Y., Abdelaziz A.M., Nofel M.M, Attia M.S. (2023). Peran protektif cendawan pemacu pertumbuhan tanaman *Aspergillus chevalieri* OP593083 dan *Aspergillus egyptiacus* OP593080 sebagai pendekatan biokontrol terhadap penyakit bercak daun Alternaria pada tanaman Vicia faba. *Biomass Conv aBioref.* <https://doi.org/10.1007/s13399-023-04510-4>
- Derengowski L.S., Silva C., Braz S.V., Sousa T.M., Bão S.N., Kyaw C.M. Pereira I. (2009). Efek antimikroba farnesol, molekul penginderaan kuorum *Candida albicans*, terhadap pertumbuhan dan morfogenesis *Paracoccidioides brasiliensis*. *Ann Clinical Microbiol Antimicrob* 8: 13. <https://doi.org/10.1186/1476-0711-8-13>
- Dourou M., Porta C.A.M. (2023) Sebuah jalur untuk menyelidiki interaksi cendawan-cendawan: Isolat Trichoderma terhadap cendawan yang berasosiasi dengan tumbuhan. *J Fungi*. 9: 461. <https://doi.org/10.3390/jof9040461>
- Edy N., Anshary A., Lakani I., Anggara A.A., & Zahlin N.H. (2023) Pengendalian hayati *Fusarium oxysporum* pada penyakit layu bawang merah menggunakan mikoriza arbuskula yang dikombinasikan dengan *Trichoderma* sp., *Pseudomonas* sp., dan *Bacillus*. Prosiding Konferensi Interdisipliner Internasional ke-2 tentang Ilmu Lingkungan dan Pembangunan Berkelanjutan 2022, Lingkungan dan Pembangunan Berkelanjutan (IICSSD-ESD 2022), Kemajuan dalam Penelitian Ilmu Hayati 36. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-334-4_23

- García J.C., Plaza C., Rovira P., Polo A. (2000). Efek jangka panjang aplikasi kompos sampah kota terhadap aktivitas enzim tanah dan biomassa mikroba. *Soil Biol Biochem* 32: 1907–1913.
- Grainha T., Jorge P., Alves D., Lopes S.P., Pereira M.O. (2020). Mengungkap komunikasi *Pseudomonas aeruginosa* dan *Candida albicans* dalam skenario koinfeksi: Wawasan melalui analisis jaringan. *Front. Cell Infect Microbiol* 10: 550505. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2020.550505>
- Hadiwiyono, Sari K., Poromarto S.H. (2020). Kehilangan hasil akibat busuk pangkal batang (*Fusarium oxysporum* f.sp. *cepae*) pada beberapa varietas bawang merah. *Caraka Tani J Sustain Agric* 35: 250-257. <http://dx.doi.org/10.20961/carakatani.v35i2.26916>
- Hartmann M., Frey B., Mayer J., Mader P., Widmer F. (2015) Keragaman mikroba tanah yang berbeda pada pertanian organik dan konvensional jangka panjang. *ISME J* 9: 1177–1194.
- Jaiswal A.K., Elad Y., Paudel I., Graber E.R., Cytryn E., Frenkel O. (2017). Menghubungkan komposisi, keanekaragaman, dan aktivitas mikroba bawah tanah dengan penekanan penyakit tular tanah dan peningkatan pertumbuhan tomat yang diberi biochar. *Sci Rep* 7: 44382.
- Hiscox J., Baldrian P., Rogers H.J., Boddy L. (2010). Perubahan aktivitas enzim oksidatif selama interaksi miselium interspesifik yang melibatkan cendawan pelapuk putih *Trametes versicolor*. *Fungal Genet Biol* 47: 562–571. doi:10.1016/j.fgb.2010.03.007
- Ismail N., Rosmana A., Sjam S., Ratnawati R. (2020.) Pengendalian busuk umbi basal bawang merah melalui integrasi *Trichoderma asperellum*, sisa tanaman kompos dan mulsa alami. *J Pure Appl Mikrobiol* 14:1779-1788. <https://doi.org/10.22207/JPAM.14.3.16>.
- Jang J.Y., Choi Y.H., Shin T.S., Kim T.H., Shin K.S., Park H.W., Kim Y.H., Kim H., Choi G.J., Jang K.S. (2016) Pengendalian hayati *Meloidogyne incognita* oleh *Aspergillus niger* F22 penghasil asam oksalat. *PLoS ONE* 11: e0156230
- Jin N., Liu S.M., Peng H., Huang W.K., Kong L.A., Wu Y.H., Chen Y.P., Ge F.Y., Jian H., Peng D.L. (2019) Isolasi dan karakterisasi *Aspergillus niger* NBC001 yang mendasari supresi terhadap Heterodera Glycines. *Sci. Rep.* 9: 591.
- Joos L., Herren G.L., Couvreur M., Binnemans I., Oni F.E., Höfte M., Debode J., Bert W., & Steel H. (2020). Kompos merupakan media pembawa *Trichoderma harzianum*. *Bio Kontrol* 65: 737–749. <https://doi.org/10.1007/s10526-020-10040-z>
- Kaewsalong N., Songkumarn P., Duangmal K., & Dethoup T. (2019.) Efek sinergis kombinasi galur baru spesies *Trichoderma* dan ekstrak *Coscinium fenestratum* dalam mengendalikan malai kotor pada padi. *J Plant Pathol* 101: 367–372. <https://doi.org/10.1007/S42161-018-0191-Y>.
- Lee H., Finckbeiner S., Yu J.S., Wiemer D.F., Eisner T., Attygalle A.B. (2007). Karakterisasi (E,E)-farnesol dan ester asam lemaknya dari kelenjar aroma dubur nutria (*Myocastor coypus*) menggunakan kromatografi gas-spektrometri massa dan kromatografi gas-spektrometri inframerah. *J Chromatog, A*, 1165: 136–143.

- Liu H., Xiong W., Zhang R., Hang X., Wang D., Li R., & Shen Q. (2018). Aplikasi berbagai aditif organik secara berkelanjutan dapat menekan penyakit tomat dengan menginduksi mikrobiota rhizosfer yang sehat melalui perubahan mikroflora tanah secara keseluruhan. *Plant Soil* 423: 229–240.
- López R., Vicente A., Ros M., Tittarelli F., Canali S., Intrigliolo F., Pascual J.A. (2010). Pemanfaatan media tanam berbasis kompos jeruk yang diperkaya *Trichoderma harzianum* T-78 dalam produksi bibit Cucumis melo L.. *Bioresour Technol* 101:3718-372.
- Nunes P.S.O., Lacerda G.V., Mascarin G.M., Guimarães R.A., Medeiros F.H.V., Arthurs S, & Bettiol W. (2024). Konsorsium mikroba produk biologis: Apakah mereka punya masa depan?. *Pengendalian Hayati* 188: 105439.
- Padder S.A., Prasad R., Shah A.B.. 2018. Penginderaan kuorum: Mode komunikasi antar cendawan yang kurang dikenal. *Penelitian Mikrobiologi* 210: 51 – 58 <https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.03.007>.
- Paul D., Gopal J., Kumar M., & Manikandan M. (2018). Alam untuk penyelamatan alam: Membungkam obrolan mikroba. *Chem Biol Interact* 280: 86–98. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2017.12.018>
- Perez L., Besoain X., Reyes M., Pardo G., & Montealegre J. (2002) Ekspresi enzim hidrolitik dinding sel cendawan ekstraseluler pada berbagai isolat *Trichoderma harzianum* berkorelasi dengan kemampuannya mengendalikan *Pyrenochaeta lycopersici*. *Biol Res* 35: 401–410. <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-97602002000300014>
- Ratnawati R., Sjam S., Rosmana A., & Tresnapura U.S. (2020). Spesies *Trichoderma* endofit asal bawang merah Lembah Palu dengan potensi pengendalian patogen bercak ungu *Alternaria porri*. *Intl J Agric Biol* 22: 977–982. <http://www.fspublishers.org/10.17957/IJAB/15.1376>
- Santoyo G., Guzmán P., Cota F.I., Villalobos S., Mosqueda, M.D.C, Glick B.R. (2021). Stimulasi pertumbuhan tanaman oleh konsorsium mikroba. *Agronomi* 11: 219. <https://doi.org/10.3390/agronomy1102021>.
- Schwartz H.F., Mohan S.K. (2008) *Kompendium Penyakit dan Hama Bawang Merah dan Bawang Putih*, edisi kedua. American Phytopathological Society, Press, St. Paul, Minnesota, AS. <https://doi.org/10.1094/9780890545003.002>
- Southwood M.J., Viljoen A., Mcleod A. (2015), Sumber inokulum *Fusarium oxysporum* f.sp. *cepae* pada bawang merah di Provinsi Western Cape, Afrika Selatan. *Perlindungan Tanaman* 75. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.05.014>
- Taufiq M., Rahmanta & Ayu SF (2021) Pengajuan dan penawaran bawang merah di Provinsi Sumatera Utara. *J Agrica* 14. <http://ojs.uma.ac.id/index.php/agrica/10.31289/agrica.v14i1.4759>
- Vallad G.E., Cooperband L., & Goodman R.M. (2003) Penekanan penyakit daun tanaman yang dimediasi oleh sisa-sisa pabrik kertas yang dikomposkan menunjukkan ciri-ciri molekuler ketahanan yang diinduksi. *Physiol Mol Plant Pathol*. 63: 65–77.
- Viterbo A., Montero M., Ramot O., Friesem D., Monte E., Llobell A., Chet I. (2002) Regulasi ekspresi *chit36* endochitinase dari *Trichoderma asperellum* (*T. harzianum* T-203).

- Wiyono S., Widodo, Khamidi T., Sobir, Suryaningsih A.S. (2022) Kombinasi Agen Biokontrol untuk Pengendalian Penyakit Bawang Merah di Lapangan. *J Fitopatol Indonesia* 18: 248–254. <https://doi.org/10.14692/jfi.18.6.248–254>
- Wu P.H., Chang H.X., Shen Y.M. (2023) Pengaruh fungisida sintetis dan ramah lingkungan terhadap pengendalian embun tepung dan mikrobioma filosfer mentimun. *PLoS ONE* 18: e0282809. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0282809>.