

ALISIN DAN POLIFENOL SEBAGAI FUNGISIDA ORGANIK POTENSIAL UNTUK MENEKAN PERTUMBUHAN PATOGEN PENYEBAB PENYAKIT BERCAK DAUN KELAPA SAWIT

Ciptadi Achmad Yusup*, Deden Dewantara Eris, dan Hari Priwiratama

Abstrak - Bercak daun merupakan penyakit minor pada tanaman kelapa sawit menghasilkan, namun menjadi masalah yang cukup serius pada fase pembibitan. Pengendalian penyakit bercak daun hingga saat ini masih mengandalkan fungisida sintetik dengan dampak negatif yang cukup tinggi bagi lingkungan, organisme target dan non target, serta terhadap manusia. Penelitian ini bertujuan untuk menguji potensi fungisida organik berbahan dasar alisin dan senyawa polifenol untuk menekan perkembangan patogen penyakit bercak daun kelapa sawit. Peracunan media dengan konsentrasi alisin dan polifenol masing-masing 0,1, 0,2, 0,4 dan 0,8%, serta campurannya dengan dua konsentrasi berbeda, digunakan selama pengujian *in vitro*. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa baik alisin dan polifenol berpotensi digunakan sebagai bahan aktif fungisida untuk menekan patogen bercak daun kelapa sawit. Senyawa alisin memiliki aktivitas antifungal yang lebih tinggi dibandingkan polifenol yang ditunjukkan dengan nilai LC50 yang lebih rendah. Kombinasi kedua senyawa ini dapat menekan pertumbuhan patogen bercak daun kelapa sawit hingga 100%.

Kata kunci: Antifungal, *Curvularia* sp., LC50, peracunan agar, *Pestalotiopsis* sp.

PENDAHULUAN

Sebagai komoditas perkebunan utama, produksi kelapa sawit masih belum mencapai potensi optimal karena berbagai faktor pembatas. Salah satu faktor pembatas produksi kelapa sawit adalah serangan penyakit tanaman (Woittiez et al., 2017). Penyakit tanaman kelapa sawit dikelompokkan berdasarkan dampak ekonomi yang ditimbulkan. Penyakit utama seperti busuk pangkal batang (BPB) yang disebabkan oleh *Ganoderma boninense* masih menjadi mimpi buruk bagi pelaku usaha kelapa sawit karena dapat mematikan tanaman kelapa sawit (Jazuli et al., 2022; Siddiqui et al., 2021). Penyakit-penyakit kelapa sawit lainnya yang memiliki dampak ekonomi yang rendah dikelompokkan menjadi penyakit minor. Meskipun dipandang kurang memiliki dampak ekonomi, penyakit minor ini nyatanya dapat menjadi persoalan yang cukup merepotkan pada fase-fase budidaya tertentu.

Penyakit bercak daun merupakan salah satu penyakit minor yang keberadaannya kerap diabaikan pada tanaman kelapa sawit, khususnya pada fase tanaman menghasilkan (TM). Namun pada fase pembibitan, serangan bercak daun menjadi kendala yang cukup merepotkan (Priwiratama et al., 2023; Priwiratama & Widiyatmoko, 2022). Hal ini karena tanaman yang terserang penyakit bercak daun akan mengalami pertumbuhan yang kurang optimal sebagai respon menurunnya aktivitas fotosintesis (Wang et al., 2022; Zhang et al., 2022). Akibatnya, waktu yang diperlukan pada fase pembibitan menjadi bertambah dan mempengaruhi jadwal penanaman di lapangan. Selain itu, serangan bercak daun yang parah pada fase *pre-nursery* (PN) dapat mematikan bibit kelapa sawit (Priwiratama et al., 2023) sehingga menyebabkan kerugian langsung bagi praktisi pembibitan. Penyakit bercak daun di Indonesia terutama disebabkan oleh cendawan genus *Curvularia* (Agustina et al., 2019), meskipun pada kenyataannya patogen penyebab bercak daun pada kelapa sawit berasal dari beberapa genus seperti *Cercospora* (Agustina et al., 2019), *Pestalotiopsis* (Shen et al., 2014), *Neopestalotiopsis* (Ismail et al., 2017), dan *Helminthosporiella* (Rosado et al., 2019).

Pengendalian terpadu penyakit bercak daun pada

Penulis yang tidak disertai dengan catatan kaki instansi adalah peneliti pada Pusat Penelitian Kelapa Sawit

Ciptadi Achmad Yusup (✉)
Pusat Penelitian Kelapa Sawit
Jl. Brigjen Katamso No. 51 Medan 20158, Indonesia

Email: ciptadi.a.yusup@gmail.com

pembibitan kelapa sawit umumnya dilakukan dengan mengatur jarak antar polibag, pengendalian gulma di sekitar areal pembibitan, kultur teknis, dan penggunaan fungisida (Priwiratama et al., 2023; Priwiratama & Widiyatmoko, 2022; Susanto & Prasetyo, 2014). Penggunaan fungisida secara kontinu tanpa diiringi dengan rotasi bahan aktif fungisida yang digunakan akan memicu terjadinya resistensi (Hahn, 2014). Umumnya fungisida yang digunakan, terutama sintetik, hanya memiliki satu jenis bahan aktif yang terkandung di dalamnya. Hal ini menyebabkan proses resistensi terhadap bahan aktif tersebut menjadi lebih mudah dan cepat jika digunakan secara terus menerus (Mosha et al., 2021). Selain itu juga fungisida sintetik ini memiliki tingkat cemaran yang tinggi pada lingkungan sehingga berbahaya bagi manusia sebagai aplikator dan juga lingkungan sekitar (Tudi et al., 2021). Berdasarkan hal ini, dipandang perlu untuk mencari bahan aktif yang efektif mengendalikan patogen penyebab bercak daun kelapa sawit yang berasal dari bahan organik yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Senyawa alisin yang banyak ditemukan pada ekstrak bawang putih telah diketahui memiliki mekanisme antifungal (Borlinghaus et al., 2014). Kemampuan antifungal dari alisin bervariasi tergantung pada konsentrasi dan juga jenis cendawan target (Aala et al., 2014; Wallock-Richards et al., 2014). Pada tanaman stroberi diketahui bahwa allisin mampu menekan perkembangan penyakit bercak daun yang disebabkan oleh genus *Pestalotiopsis* (Karki et al., 2021). Senyawa lain yang juga memiliki aktivitas antimikroba adalah polifenol, senyawa ini banyak ditemukan pada asap cair yang berasal dari pengembunan uap hasil pembakaran (Hadanu & Apituley, 2016). Mahmudi et al., (2022) melaporkan bahwa asap cair yang diperoleh dari hasil pembakaran pelepah kelapa sawit pada konsentrasi 2-4% efektif menghambat pertumbuhan cendawan patogen *Curvularia* sp. dan *Cercospora* sp. Selain sebagai antimikroba, asap cair juga memiliki kemampuan sebagai insektisida terhadap beberapa kelompok serangga (Diptaningsari et al., 2022; Prabowo & Martono, 2016). Tujuan penelitian ini adalah untuk menguji daya hambat senyawa alisin yang berasal dari ekstrak bawang putih dan polifenol yang berasal dari asap cair kelapa terhadap cendawan penyebab penyakit bercak daun kelapa sawit, yaitu *Curvularia* sp. dan *Pestalotiopsis* sp.

BAHAN DAN METODE

Senyawa alisin yang digunakan pada penelitian ini berasal dari ekstrak bawang putih segar yang dilarutkan dengan menggunakan air steril. Sedangkan untuk polifenol berasal dari asap cair yang diperoleh dari hasil pembakaran tempurung dan sabut kelapa melalui proses pirolisis. Isolat patogen bercak daun kelapa sawit yang digunakan adalah *Curvularia* sp. yang berasal dari Sanggau, Kalimantan Barat dan *Pestalotiopsis* sp. yang berasal dari Merauke, Papua Selatan. Isolat diisolasi langsung dari daun bibit kelapa sawit yang kemudian dimurnikan.

Pengujian dilakukan secara *in vitro* dengan menggunakan metode peracunan agar (Adhikari et al., 2018). Isolat cendawan berukuran 10 mm kemudian diinokulasikan di atas media *potato dextrose* agar (PDA) yang mengandung alisin dan polifenol. Konsentrasi alisin dan polifenol yang digunakan adalah 0,1, 0,2, 0,4 dan 0,8%, selain itu juga digunakan campuran kedua bahan aktif tersebut dengan konsentrasi 0,8% alisin + 0,125% polifenol (perlakuan Alisin + Polifenol 1) dan 1,6% alisin + 0,125% polifenol (perlakuan Alisin + Polifenol 2). Sebagai kontrol digunakan media PDA yang dicampurkan dengan air steril. Konsentrasi campuran yang diujikan merupakan hasil dari penelitian pendahuluan yang telah dilakukan sebelumnya pada jenis patogen lain.

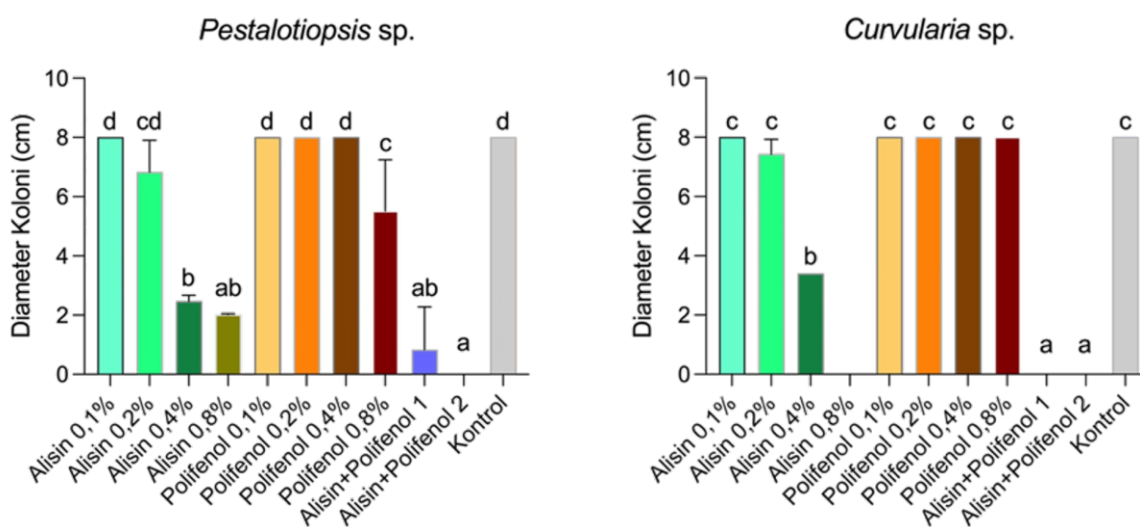
Pengamatan diameter koloni cendawan dilakukan setiap hari, dengan akhir durasi pengamatan mengacu kepada diameter koloni pada perlakuan kontrol. Setelah 10 hari, koloni cendawan pada perlakuan kontrol sudah memenuhi seluruh area cawan petri, perhitungan tingkat penghambatan dilakukan pada akhir masa inkubasi. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan masing-masing perlakuan diulang sebanyak tiga kali. Pengolahan data dilakukan menggunakan analisis sidik ragam (ANOVA) satu arah. Selain itu juga dilakukan penghitungan nilai *lethal concentration* 50 (LC50) dengan menggunakan analisis Probit.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa setelah 10 hari masa inkubasi, baik koloni *Pestalotiopsis* sp. dan *Curvularia* sp. sudah tumbuh memenuhi cawan petri dengan diameter koloni maksimum 8 cm. Senyawa

alisin mampu menghambat pertumbuhan koloni *Pestalotiopsis* sp. dan juga *Curvularia* sp. dengan tingkat penghambatan yang meningkat seiring peningkatan konsentrasi aplikasi (Gambar 1 dan Tabel 1). Konsentrasi minimum penghambatan (*minimum inhibition concentration* [MIC]) alisin terhadap *Curvularia* sp. adalah 0,8%, sedangkan terhadap *Pestalotiopsis* sp. berada pada lebih dari 0,8%. Hasil MIC alisin ini mirip dengan hasil penelitian lain yang melaporkan bahwa MIC alisin terhadap beberapa jenis

mikroba berkisar antara 0,5 – 3% (Wallock-Richards et al., 2014). Konsentrasi minimum penghambatan sendiri merupakan konsentrasi minimal suatu senyawa yang dapat menghambat 100% pertumbuhan mikroba target (Kowalska-Krochmal & Dudek-Wicher, 2021). Konsentrasi alisin 0,4% sudah memiliki aktivitas penghambatan yang berbeda nyata ($P < 0,05$) terhadap kontrol, baik pada cendawan *Pestalotiopsis* sp. maupun *Curvularia* sp.



Gambar 1. Pengaruh aplikasi senyawa alisin, polifenol dan campuran keduanya terhadap diameter koloni cendawan bercak daun kelapa sawit. Keterangan: alisin+polifenol 1 = 0,8%+0,125%; alisin+polifenol 2 = 1,6%+0,125%. Huruf yang berbeda dalam grafik yang sama menunjukkan beda nyata berdasarkan uji Tukey dengan selang kepercayaan 95%.

Aplikasi senyawa polifenol terhadap *Curvularia* sp. menunjukkan tidak ada perubahan dibandingkan dengan kontrol hingga konsentrasi 0,8%. Sedangkan pada *Pestalotiopsis* sp., terdapat penghambatan pada konsentrasi 0,8% yang berbeda nyata dengan kontrol (Tabel 1). Senyawa polifenol memiliki nilai MIC lebih tinggi dibandingkan dengan alisin, dan hasil ini diperkuat oleh penelitian Milly et al. (2005) yang melaporkan bahwa MIC dari asap cair berkisar antara 0,75% hingga lebih dari 9%, tergantung pada jenis mikroba yang diujikan.

Selain menguji aktivitas antifungal senyawa alisin dan polifenol secara tunggal terhadap patogen bercak daun kelapa sawit, dilakukan juga pengujian daya hambat dari kombinasi alisin dan polifenol.

Konsentrasi yang diujikan adalah hasil dari penelitian lain yang penulis lakukan terhadap cendawan *G. boninense*. Hasil yang diperoleh adalah konsentrasi alisin 0,8% + polifenol 0,125% mampu menghambat 100% pertumbuhan *Curvularia* sp.. Sedangkan pada *Pestalotiopsis* sp., kombinasi ini tidak mampu menghambat 100% pertumbuhan. Hasil ini tidak berbeda nyata dengan daya hambat alisin tunggal dengan konsentrasi 0,8%. Untuk mencapai tingkat penghambatan 100% pada cendawan *Pestalotiopsis* sp., konsentrasi alisin harus ditingkatkan menjadi 1,6% dan dikombinasikan dengan 0,125% polifenol (Tabel 1). Penggunaan bahan aktif tambahan untuk meningkatkan efektivitas telah banyak dilaporkan,

bahkan dapat menjadi solusi untuk target pengendalian yang sudah memiliki resistensi terhadap satu jenis bahan aktif (Mosha et al., 2021).

Berdasarkan hasil yang diperoleh, cendawan *Pestalotiopsis* sp. memiliki tingkat ketahanan terhadap senyawa alisin lebih tinggi dibandingkan dengan *Curvularia* sp. dengan MIC 1,6% berbanding dengan 0,8%. Sebaliknya untuk senyawa polifenol, *Curvularia* sp. cenderung memiliki ketahanan lebih tinggi dibandingkan dengan *Pestalotiopsis* sp., dengan konsentrasi 0,8% polifenol sudah menghasilkan penghambatan sebesar 31,04% terhadap *Pestalotiopsis* sp. Perbedaan tingkat penghambatan

ini dipengaruhi baik oleh faktor *mode of action* (MoA) bahan aktif, maupun dari faktor perbedaan genetik cendawan targetnya (Arastehfar et al., 2020). Alisin memiliki MoA menghambat pertumbuhan membran dan dinding sel cendawan, penghambatan ini menyebabkan kerusakan sitoplasma, pecahnya membran dan dinding sel, dan tidak terbentuknya miselium (Aala et al., 2014). Berbeda dengan alisin, MoA polifenol adalah dengan mengganggu sintesis ergosterol, glucan, kitin, protein dan glukosamin pada cendawan (Ennacerie et al., 2019; Mendoza et al., 2019). Visualisasi koloni *Pestalotiopsis* sp. dan *Curvularia* sp. yang diberi perlakuan alisin dan polifenol terdapat pada Gambar 2 dan 3.

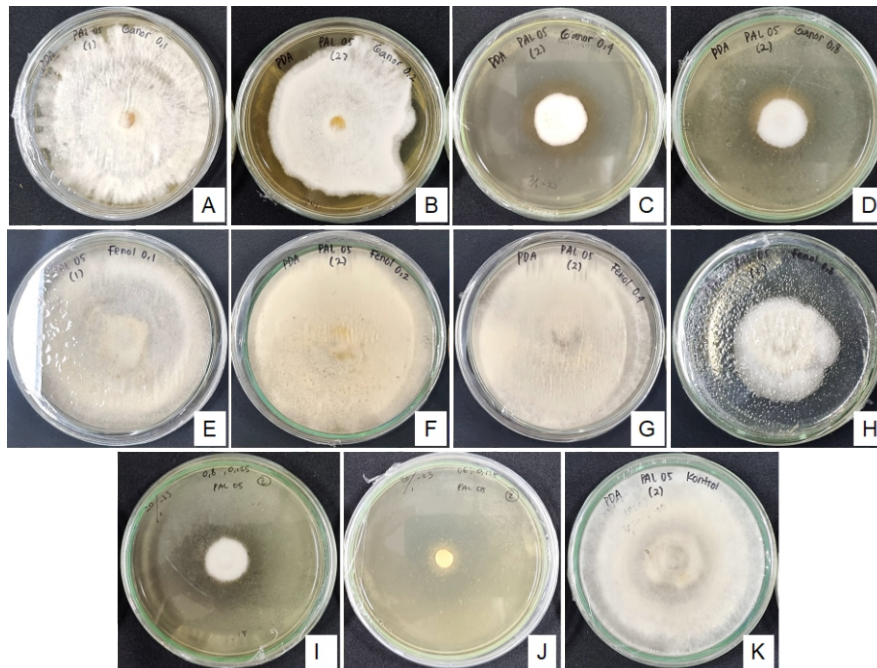
Tabel 1. Tingkat penghambatan senyawa alisin, polifenol dan campuran keduanya terhadap cendawan bercak daun kelapa sawit.

	Konsentrasi (%)	Tingkat Penghambatan (%)*	
		<i>Pestalotiopsis</i> sp.	<i>Curvularia</i> sp.
Kontrol	0	0 d	0 c
	0,1	0 d	0 c
	0,2	14,58 cd	7,12 c
	0,4	69,17 b	57,50 b
	0,8	74,79 ab	100 a
Alisin	0,1	0 d	0 c
	0,2	0 d	0 c
	0,4	0 d	0 c
	0,8	31,04 c	0 c
	0,8 + 0,125	89,58 ab	100 a
Alisin+ Polifenol	1,6 + 0,125	100 a	100 a

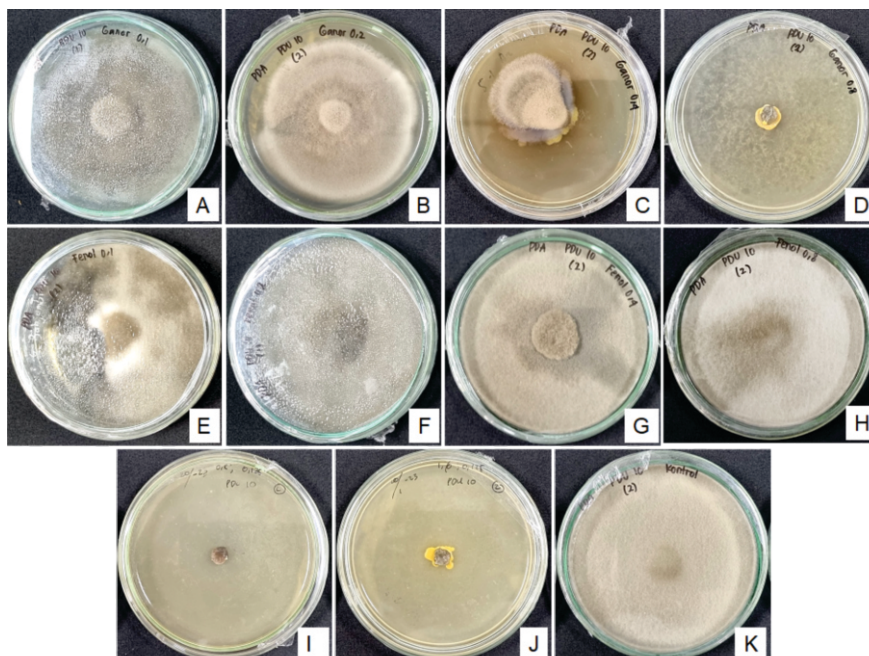
*Angka yang diikuti huruf berbeda menunjukkan berbeda nyata berdasarkan uji Tukey dengan tingkat kepercayaan 95%

Hasil penghitungan nilai LC50 untuk senyawa alisin dan polifenol cendawan *Pestalotiopsis* sp. dan *Curvularia* sp. menghasilkan persamaan regresi linier seperti pada Gambar 4. Nilai LC50 untuk senyawa alisin terhadap *Pestalotiopsis* sp. adalah 0,447% dan 0,35% terhadap *Curvularia* sp. Senyawa polifenol memiliki nilai LC50 0,864% terhadap *Pestalotiopsis* sp., sedangkan terhadap

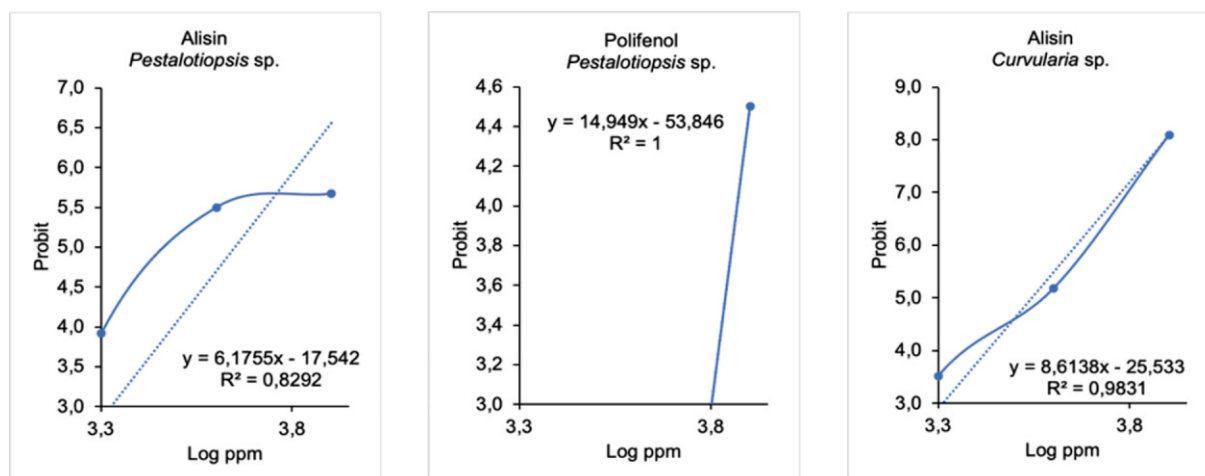
Curvularia sp. nilai LC50 belum dapat dihitung karena seluruh perlakuan polifenol tidak memiliki daya hambat terhadap *Curvularia* sp.. Nilai LC50 yang lebih rendah menunjukkan senyawa alisin memiliki tingkat toksisitas terhadap target yang lebih tinggi dibandingkan dengan polifenol (Camargo Carniel et al., 2019; Kovačević et al., 2022).



Gambar 2. Pengujian *in vitro* pengaruh senyawa alisin, polifenol dan campuran keduanya terhadap koloni *Pestalotiopsis* sp. A. Alisin 0,1%; B. Alisin 0,2%; C. Alisin 0,4%; D. Alisin 0,4%; E. Polifenol 0,1%; F. Polifenol 0,2%; G. Polifenol 0,4%; H. Polifenol 0,8%; I. Alisin 0,8% + polifenol 0,125%; J. Alisin 1,6% + polifenol 0,125%; K. Kontrol.



Gambar 3. Pengujian *in vitro* pengaruh senyawa alisin, polifenol dan campuran keduanya terhadap koloni *Curvularia* sp. A. Alisin 0,1%; B. Alisin 0,2%; C. Alisin 0,4%; D. Alisin 0,4%; E. Polifenol 0,1%; F. Polifenol 0,2%; G. Polifenol 0,4%; H. Polifenol 0,8%; I. Alisin 0,8% + polifenol 0,125%; J. Alisin 1,6% + polifenol 0,125%; K. Kontrol.



Gambar 4. Hasil penghitungan analisis regresi linier pengaruh aplikasi alisin dan polifenol terhadap *Pestalotiopsis* sp. dan *Curvularia* sp.

KESIMPULAN

Senyawa alisin dan polifenol memiliki aktivitas antifungal terhadap cendawan patogen penyebab penyakit bercak daun kelapa sawit. Alisin efektif untuk menghambat pertumbuhan *Curvularia* sp. secara total pada konsentrasi rendah, sedangkan terhadap *Pestalotiopsis* sp. diperlukan konsentrasi yang sedikit lebih tinggi. Polifenol memerlukan konsentrasi yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan alisin untuk mengendalikan baik *Pestalotiopsis* sp. maupun *Curvularia* sp. Berdasarkan nilai LC50, alisin memiliki aktivitas antifungal yang lebih tinggi dibandingkan polifenol. Gabungan kedua senyawa ini mampu secara efektif menghambat pertumbuhan cendawan penyebab penyakit bercak daun secara total sehingga berpotensi untuk digunakan sebagai bahan aktif fungisida organik. Pengujian lanjutan pada skala pembibitan serta pada kisaran patogen yang lebih luas masih diperlukan untuk memastikan keefektifannya di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aala, F., Yusuf, U. K., Nulit, R., & Rezaie, S. (2014). Inhibitory effect of allicin and garlic extracts on growth of cultured hyphae. *Iranian Journal of Basic Medical Sciences*, 17(3), 150. <https://doi.org/10.22038/ijbms.2014.2399>
- Adhikari, M., Kharel, N., Gaire, L., Poudel, R.,

Shrestha, S. M., Gaire, S. P., & Acharya, B. (2018). In vitro evaluation of different chemicals against *Rhizoctonia solani* by poisoned food technique. *Field Crop*, 1(3). <https://cropscipublisher.com/index.php/fc/article/view/3568>

- Agustina, D., Prihatna, C., & Suwanto, A. (2019). Rapid inoculation technique and biological control of leaf spot disease in oil palm. *International Journal of Oil Palm*, 2(1), 1–11. <https://doi.org/10.35876/IJOP.V2I1.24>
- Arastehfar, A., Lass-Flörl, C., Garcia-Rubio, R., Daneshnia, F., Ilkit, M., Boekhout, T., Gabaldon, T., & Perlin, D. S. (2020). The quiet and underappreciated rise of drug-resistant invasive fungal pathogens. *Journal of Fungi*, 6(3), 138. <https://doi.org/10.3390/JOF6030138>
- Borlinghaus, J., Albrecht, F., Gruhlke, M. C. H., Nwachukwu, I. D., & Slusarenko, A. J. (2014). Allicin: chemistry and biological properties. *Molecules*, 19(8), 12591–12618. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES190812591>
- Camargo Camiel, L. S., Niemeyer, J. C., luães de Oliveira Filho, L. C., Alexandre, D., Gebler, L., & Klauber-Filho, O. (2019). The fungicide mancozeb affects soil invertebrates in two subtropical Brazilian soils. *Chemosphere*, 232, 180–185. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.20>

- 19.05.179
- Diptaningsari, D., Meithasari, D., Karyati, H., & Wardani, N. (2022). Potential use of coconut shell liquid smoke as an insecticide on soybean and the impact on agronomic performance. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 985(1), 012058. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/985/1/012058>
- Ennacerie, F. Z., Filali, F. R., Moukrad, N., & Bouymajane, A. (2019). Polyphenols, antioxidant activity and mode of action of antimicrobial compounds of *Dittrichia viscosa* extracts. *Arabian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 5(3), 90–106. <https://doi.org/10.48347/IMIST.PRSM/AJMAP-V5I3.18669>
- Hadanu, R., & Apituley, D. A. N. (2016). Volatile Compounds Detected in Coconut Shell Liquid Smoke through Pyrolysis at a Fractioning Temperature of 350-420 C. *Makara Journal of Science*, 20(3), 95–100. <https://doi.org/10.7454/MSS.V20I3.6239>
- Hahn, M. (2014). The rising threat of fungicide resistance in plant pathogenic fungi: Botrytis as a case study. *Journal of Chemical Biology*, 7(4), 133–141. <https://doi.org/10.1007/S12154-014-0113-1/METRICS>
- Ismail, S. I., Zulperi, D., Norddin, S., & Ahmad-Hamdani, S. (2017). First report of *Neopestalotiopsis saprophytica* causing leaf spot of oil palm (*Elaeis guineensis*) in Malaysia. *Plant Disease*, 101(10), 1821. <https://doi.org/10.1094/PDIS-02-17-0271-PDN>
- Jazuli, N. A., Kamu, A., Chong, K. P., Gabda, D., Hassan, A., Abu Seman, I., & Ho, C. M. (2022). A review of factors affecting *Ganoderma* basal stem rot disease progress in oil palm. *Plants*, 11(19), 2462. <https://doi.org/10.3390/PLANTS11192462>
- Karki, B., Sitaula, H. P., Bhandari, S., Gairhe, P., & Manandhar, H. K. (2021). Effect of different botanical extracts, organic compounds and fungicide on the management of leaf spot disease of strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.) caused by *Pestalotia longiset* under field and in vitro condition. *Int. J. Appl. Sci. Biotechnol.*, 9(3), 193–202. <https://doi.org/10.3126/ijasbt.v9i3.39032>
- Kovačević, M., Stjepanović, N., Hackenberger, D. K., Lončarić, Ž., & Hackenberger, B. K. (2022). Comprehensive study of the effects of strobilurin-based fungicide formulations on *Enchytraeus albidus*. *Ecotoxicology*, 31(10), 1554–1564. <https://doi.org/10.1007/S10646-022-02609-4/METRICS>
- Kowalska-Krochmal, B., & Dudek-Wicher, R. (2021). The minimum inhibitory concentration of antibiotics: methods, interpretation, clinical relevance. *Pathogens*, 10(2), 1–21. <https://doi.org/10.3390/PATHOGENS10020165>
- Mahmudi, Y., Pulungan, M. S. Z., & Zam, S. I. (2022). Uji efektivitas asap cair pelepah kelapa sawit untuk mengendalikan *Curvularia* sp. dan *Cercospora* sp. secara in vitro. *J. Agrotek. Trop.*, 11(1), 9–20.
- Mendoza, L., Navarro, F., Melo, R., Báez, F., Cotoras, M., Mendoza, L., Navarro, F., Melo, R., Báez, F., & Cotoras, M. (2019). Characterization of polyphenol profile of extracts obtained from grapepomace and synergistic effect of these extracts and fungicide against *Botrytis cinerea*. *Journal of the Chilean Chemical Society*, 64(4), 4607–4609. <https://doi.org/10.4067/S0717-97072019000404607>
- Milly, P. J., Toledo, R. T., & Ramakrishnan, S. (2005). Determination of minimum inhibitory concentrations of liquid smoke fractions. *Journal of Food Science*, 70(1), M12–M17. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2621.2005.TB09040.X>
- Mosha, J. F., Kulkarni, M. A., Messenger, L. A., Rowland, M., Matowo, N., Pitt, C., Lukole, E., Taljaard, M., Thickstun, C., Manjurano, A., Mosha, F. W., Kleinschmidt, I., & Protopopoff, N. (2021). Protocol for a four parallel-arm, single-blind, cluster-randomised trial to assess the effectiveness of three types of dual active ingredient treated nets compared to pyrethroid-only long-lasting insecticidal nets to prevent malaria transmitted by pyrethroid insecticide-resistant vector mosquitoes in Tanzania. *BMJ*

- Open*, 11(3), e046664.
<https://doi.org/10.1136/BMJOPEN-2020-046664>
- Prabowo, H., & Martono, E. (2016). Activity of liquid smoke of tobacco stem waste as an insecticide on *Spodoptera litura* Fabricius larvae. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*, 20(1), 22–27.
- Priwiratama, H., Eris, D. D., Pradana, M. G., & Rozziansha, T. A. P. (2023). Status terkini penyakit bercak daun kelapa sawit di Sumatera dan Kalimantan. *WARTA Pusat Penelitian Kelapa Sawit*, 28(1), 27–38.
<https://doi.org/10.22302/IOPRI.WAR.WARTA.V28I1.101>
- Priwiratama, H., & Widiyatmoko, B. (2022). Potensi teknologi iradiasi energi foton untuk pengendalian penyakit bercak daun *Curvularia* sp. pada tanaman kelapa sawit. *WARTA Pusat Penelitian Kelapa Sawit*, 27(3), 134–145.
<https://doi.org/10.22302/IOPRI.WAR.WARTA.V27I3.91>
- Rosado, A. W. C., de Jesus Boari, A., Custódio, F. A., Quadros, A. F. F., Batista, I. C. A., & Pereira, O. L. (2019). *Helminthosporiella stilbacea* associated with African oil palm (*Elaeis guineensis*) in Brazil. *Forest Pathology*, 49(5), e12529. <https://doi.org/10.1111/EFP.12529>
- Shen, H. F., Zhang, J. X., Lin, B. R., Pu, X. M., Zheng, L., Qin, X. D., Li, J., & Xie, C. P. (2014). First report of *Pestalotiopsis microspora* causing leaf spot of oil palm (*Elaeis guineensis*) in China. *Plant Disease*, 98(10), 1429.
<https://doi.org/10.1094/PDIS-02-14-0163-PDN>
- Siddiqui, Y., Surendran, A., Paterson, R. R. M., Ali, A., & Ahmad, K. (2021). Current strategies and perspectives in detection and control of basal stem rot of oil palm. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(5), 2840–2849.
<https://doi.org/10.1016/J.SJBS.2021.02.016>
- Susanto, A., & Prasetyo, A. E. (2014). Respons *Curvularia lunata* penyebab penyakit bercak daun kelapa sawit terhadap berbagai fungisida. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*, 9(6), 165.
<https://doi.org/10.14692/jfi.9.6.165>
- Tudi, M., Ruan, H. D., Wang, L., Lyu, J., Sadler, R., Connell, D., Chu, C., & Phung, D. T. (2021). Agriculture development, pesticide application and its impact on the environment. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 18(3), 1112.
<https://doi.org/10.3390/IJERPH18031112>
- Wallock-Richards, D., Doherty, C. J., Doherty, L., Clarke, D. J., Place, M., Govan, J. R. W., & Campopiano, D. J. (2014). Garlic revisited: antimicrobial activity of allicin-containing garlic extracts against *Burkholderia cepacia* Complex. *PLOS ONE*, 9(12), e112726.
<https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0112726>
- Wang, Q., Li, H., Lei, Y., Su, Y., & Long, Y. (2022). Chitosan as an adjuvant to improve isopyrazam azoxystrobin against leaf spot disease of kiwifruit and enhance its photosynthesis, quality, and amino Acids. *Agriculture*, 12(3), 373.
<https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE12030373>
- Woittiez, L. S., van Wijk, M. T., Slingerland, M., van Noordwijk, M., & Giller, K. E. (2017). Yield gaps in oil palm: A quantitative review of contributing factors. *European Journal of Agronomy*, 83, 57–77.
<https://doi.org/10.1016/J.EJA.2016.11.002>
- Zhang, C., Li, H., Wu, X., Su, Y., & Long, Y. (2022). Co-application of tetramycin and chitosan in controlling leaf spot disease of kiwifruit and enhancing its resistance, photosynthesis, quality and amino acids. *Biomolecules*, 12(4), 500.
<https://doi.org/10.3390/BIOM12040500>