



Seminar Nasional Penelitian dan Pengabdian Teknologi Hasil Pertanian

Trichoderma sp.: PERANNYA DALAM PERTANIAN RAMAH LINGKUNGAN

Trichoderma sp.: THEIR ROLE IN ECO-FRIENDLY AGRICULTURE

Ria Fauriah^{1*}, Sepsriyanti Kannapadang², Ukhwatul Muanisah¹

¹Balai Pengujian Standar Instrumen Lingkungan Pertanian, Jl. Raya Jakenan Jaken Km 05, Jaken, Pati, Jawa Tengah, Indonesia

²Universitas Kristen Indonesia Toraja, Jl. Nusantara No.12, Makale, Tana Toraja, Sulawesi Selatan, Indonesia

*Email korespondensi: riafauriah@gmail.com

ABSTRACT

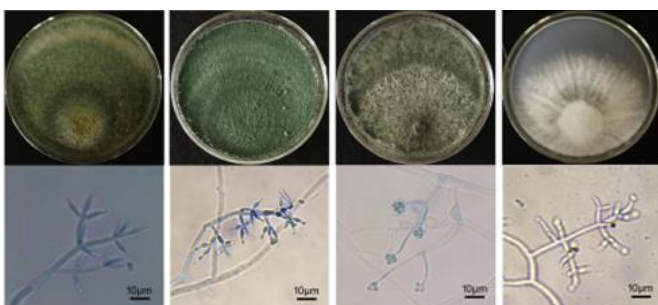
Keywords:

biodegradasi,
biodekomposer,
biokontrol

Trichoderma is a genus of fungi that is widely used in the plant cultivation process. *Trichoderma* is known to be able to act as a biocontrol agent against attacks by pathogens that cause plant diseases. Apart from that, *Trichoderma* is known to be able to produce enzymes that play a role in degrading certain specific compounds and heavy metals. *Trichoderma* is also often used as a biodecomposer to speed up the waste decomposition process and can also play a role in stimulating plant growth. These various advantages represent a great opportunity in the future to utilize *Trichoderma* as an important part of environmentally friendly agriculture.

1. PENDAHULUAN

Trichoderma merupakan salah satu genus cendawan dari ascomycetes yang pada umumnya memiliki spora berwarna hijau yang keberadaannya tersebar di seluruh dunia. *Trichoderma* merupakan cendawan *soil borne* yang dapat diisolasi dari sekitar perakaran tumbuhan. *Trichoderma* memiliki banyak spesies yang telah ditemukan dengan ciri-ciri yang spesifik (Gambar 1).



Gambar 1. Morfologi makroskopis dan mikroskopis 4 spesies cendawan *Trichoderma*: *T. harzianum*, *T. asperellum*, *T. atroviride*, *T. Hamatum* (dari kiri ke kanan) (Ji et al., 2020)

Trichoderma sendiri sudah banyak dimanfaatkan dalam pertanian. Berbagai manfaat *Trichoderma* diantaranya yaitu berperan dalam mengendalikan serangan beberapa patogen penyebab penyakit tanaman (Sharma et al., 2016), mendegradasi

senyawa-senyawa logam berat atau pestisida, berperan dalam memacu pertumbuhan tanaman, dan sebagai biodekomposer (Sharma et al., 2016; Rao et al., 2020; Saputra dkk, 2020; Hussain and Mutlag, 2021) Berbagai spesies *Trichoderma* dapat menjadi biofungisida dan pupuk hayati untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman (Gusnawaty et al., 2020).

2. TRICHODERMA SEBAGAI AGEN BIODEGRADASI

Logam Berat

Beberapa spesies *Trichoderma* seperti *Trichoderma asperellum*, *Trichoderma koningii*, *Trichoderma harzianum*, dan *Trichoderma viride* diketahui mampu mendegradasi logam berat seperti Pb, Cu, Cd, Zn, Fe, dan lain sebagainya. Isolat *Trichoderma* yang diambil dari lahan yang tercemar yang diujikan pada beberapa logam berat cadmium, tembaga, merkuri, dan seng menunjukkan respon toleransi terhadap logam tersebut (Maldaner et al., 2021). Pada penggunaan fungisida yang berbahan dasar tembaga, *Trichoderma* mampu digunakan sebagai bioremediator. *Trichoderma* sp. yang diisolasi dari lokasi tercemar logam Pb, Cd, Zn, dan Cu terbukti toleran terhadap logam tersebut hingga pada konsentrasi tinggi yaitu pada Zn 600 ppm, Cu 2000 ppm (Ayad et al., 2018). *Trichoderma* toleran terhadap senyawa nikel dan cadmium hingga konsentrasi 150 ppm (Nongmaithem et al., 2016).

Pemberian *Trichoderma* sp pada bayam mampu menurunkan kadar Cd sebesar 63,81% dan meningkatkan pertumbuhan tanaman bayam. Sementara kombinasi antara *Trichoderma* sp. dengan fitoremediasi *Ipomoea reptans* menurunkan kadar Cd menjadi 71,19% dan meningkatkan pertumbuhan tanaman bayam (Herliana et al., 2018).

Pada spesies *Trichoderma harzianum* yang diujikan kemampuan biodegradasinya terhadap logam berat pada air limbah menunjukkan persentase biodegradasi tertinggi untuk mangan dan Pb masing-masing 83,27% dan 84,50%, dan persentase biodegradasi terendah berturut-turut adalah Zn dan Fe (33,67%, 38,09%) (Hussain and Mutlag, 2021). *Trichoderma harzianum* yang berperan dalam biokontrol patogen, mampu bertahan di lingkungan yang tercemar dan bertindak sebagai bioremediasi. Pengujian terhadap efek paparan cadmium terhadap pertumbuhan *Trichoderma* sp. menunjukkan bahwa metabolisme karbohidrat dari cendawan ini terhambat, terutama gen yang berkaitan dengan mikoparasitisme sehingga diketahui bahwa kemampuan biokontrol *Trichoderma harzianum* dapat terpengaruh jika ada paparan cemaran logam kadmium (Oshiquiri et al, 2020). Kombinasi *Pseudomonas aeruginosa* dan *Trichoderma harzianum* yang diberikan pada tanah tercemar logam berat Pb, Cu, Fe, dan Zn dapat meningkatkan produksi tanaman tomat dan menurunkan konsentrasi logam berat pada buah tomat (Salami and Adebiyi, 2017).

Pada spesies *Trichoderma viride* dan *Trichoderma koningii* dinilai mampu menghilangkan ion logam berat Zn pada tanah, dimana dengan kombinasi kedua cendawan ini mampu toleran pada Zn tinggi (Mazrou et al, 2020). *Trichoderma koningii* diketahui mampu mendegradasi senyawa alaklor 90% setelah 72 jam, dan mampu mendegradasi senyawa alaklor yang ditambahkan tembaga hingga 80%, dimana cendawan ini juga toleran pada tembaga hingga 7,5 mM. (Nykiel-Szymańska et al., 2018).

Pada spesies *Trichoderma asperellum* yang diambil dari lokasi pertambangan digunakan sebagai fitostimulasi mampu memperkuat toleransi tanaman *Arabidopsis thaliana* terhadap kadmium dan timbal, dimana cendawan ini menunjukkan potensi yang tinggi dalam menginaktivasi kadmium. (Zhang et al, 2018b). Pada media PDB yang ditambahkan Ni 50 ppm diketahui bahwa *Trichoderma asperellum* mampu menyerap logam hingga 66%, selain itu *Trichoderma virens* dan *Trichoderma inhamatum* mampu menyerap hingga 68% (De Padua and dela Cruz, 2021).

Mekanisme yang terjadi antara cendawan *Trichoderma* saat berhadapan logam berat sangat penting untuk menjadi dasar remediasi logam berat pada lahan tercemar. *Trichoderma asperellum*

diketahui toleran terhadap logam Pb^{2+} . *Trichoderma asperellum* mampu mensintesis asam oksalat dan mensekresikannya secara ekstraseluler. Pada awalnya, cendawan ini mensintesis asam oksalat dalam miselia dan mengeluarkannya secara ekstraseluler untuk menghilangkan Pb^{2+} bebas dan mengurangi toksisitas Pb^{2+} (Sun et al., 2020a). Senyawa polisakarida berperan dalam toleransi Pb^{2+} pada *Trichoderma asperellum*. Ion timbal teradsorpsi dan berpindah ke miselia dan terakumulasi dalam polisakarida murni. Perubahan ini bermanfaat untuk mengurangi jumlah Pb^{2+} bebas dan memperlambat toksisitas. (Sun et al., 2020b).

Penggunaan *Trichoderma* pada lahan-lahan yang tercemar logam berat mampu menurunkan konsentrasi logam berat pada wilayah tersebut serta meningkatkan pertumbuhan tanaman yang ditanam. Hal ini terlihat pada pertumbuhan bibit kakao pada areal dekat pertambangan nikel dapat ditingkatkan dengan pemberian kompos yang dikombinasikan dengan *Trichoderma asperellum* (Rosmana et al, 2019).

Residu pestisida

Pada bagian atas telah dibahas berbagai kemampuan degradasi logam berat yang dilakukan *Trichoderma*. Selain logam berat, *Trichoderma* juga mampu mendegradasi senyawa pestisida yang ada dipertanaman. Pada pengujian kemampuan biodegradasinya terhadap senyawa Carbendazim, *Trichoderma harzianum*, *T. viride*, dan *T. atroviride* mampu mendegradasi senyawa tersebut sebesar 85%, 47%, dan 21% secara berturut-turut. (Sharma et al, 2016). Pada fungisida climbazole, cendawan *T. harzianum* mampu mendegradasi hingga 91% dimana lewat LC-MS diketahui mekanisme reduksi karbonil senyawa climbazole menjadi alkohol merupakan proses transformasi degradasi senyawa ini (Manasfi et al., 2020). Pada pengujian senyawa glifosat, *T. viride* strain FRP3 mampu menurunkan senyawa tersebut dalam waktu 28 hari dengan besar degradasi 48-70% tergantung frekuensi pengaplikasiannya pada lahan (Arfarita et al, 2016).

Trichoderma harzianum mampu menghilangkan karbamazepin dan klaritromisin, dimana metabolit utama yang berperan dalam *T. harzianum* ini yaitu 14-hidroksi-deskladinosil- dan deskladinosil-klaritromisin, yang tidak berbahaya bagi lingkungan (Buchicchio et al, 2016). Senyawa dichlorvos yang merupakan insektisida dapat di degradasi dengan menggunakan *Trichoderma asperellum*. Data pengukuran menunjukkan secara umum terjadi perubahan metabolisme primer dan sekunder pada *Trichoderma asperellum* jika ada paparan senyawa diklorvos (Wu et al, 2018).

Mekanisme yang terjadi dalam proses degradasi residu pestisida dapat berupa terjadinya mineralisasi. Residu pestisida dapat dimanfaatkan oleh mikroorganisme sebagai sumber nutrisi, yang kemudian didegradasi menjadi bahan anorganik, air, dan karbon dioksida. Struktur molekul dan golongan pestisida akan menunjukkan reaksi degradasi yang berbeda terhadap spesies mikroorganisme tertentu (Huang et al, 2018).

Lainnya

Selain logam berat dan residu pestisida, *Trichoderma* juga mampu mendegradasi senyawa hidrokarbon. *Trichoderma harzianum* F26 setelah 45 hari mampu menunjukkan penurunan yang signifikan dari BTEX (benzena, toluena, etilbenzena, dan tiga isomer xilena) dan fraksi alkilbenzena (Daccò et al, 2020). *Trichoderma lixii* MUT3171 yang berasal dari tanah terkontaminasi PAH mampu tumbuh pada fenantrena dengan memanfaatkan senyawa ini sebagai sumber karbon (Venice et al, 2020).

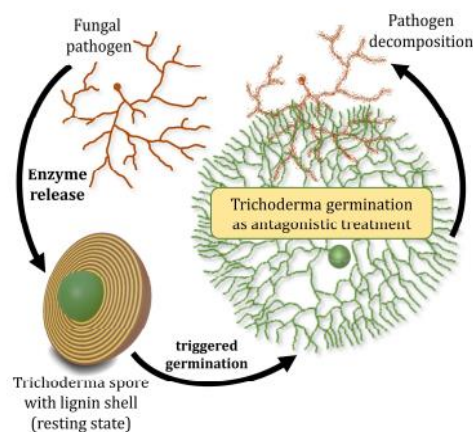
Trichoderma asperellum dapat berperan sebagai biodegradasi Malachite green (MG) yang merupakan pewarna yang dapat bersifat toksik, dimana terjadi proses oksidasi, hidroksilasi, deaminasi dan demetilasi dalam degradasi MG dan tidak ada pembentukan senyawa turunan yang bersifat toksik (Shanmugam et al, 2017). *Trichoderma harzianum* dapat berperan untuk dekolonisasi senyawa Mordant orange-1, dimana sumber karbon, sumber nitrogen, dan senyawa aromatik sangat meningkatkan efisiensi penghilangan warna senyawa ini. Mordant orange-1 yang didegradasi oleh *Trichoderma harzianum* akan diubah menjadi asam benzoat dan selanjutnya menjadi asam salisilat (Hadibarata et al, 2018). *Trichoderma harzianum* yang di kombinasikan dengan *Pseudomonas fluoresces* mampu berperan dalam bioremediasi asetaminofen (APAP) dan 4-aminofenol (PAP) (Shabani et al, 2021). Pada kondisi optimal dengan menggunakan model kinetik, *Trichoderma asperellum* menunjukkan degradasi senyawa toluena yang lebih baik. (Gopinath et al, 2016). *Trichoderma aureoviridae* mampu mendegradasi syntans yang mengandung gugus hidroksil fenolik (Basyntan DI) yang merupakan polutan lingkungan yang digunakan dalam pemrosesan kulit. Data menunjukkan cendawan ini mampu mendegradasi pada konsentrasi 500 ppm senyawa tersebut (Lawrance et al, 2018).

3. TRICHODERMA SEBAGAI AGEN BIOKONTROL

Trichoderma reesei merupakan agen biokontrol penyakit tanaman, salah satunya yaitu penyakit batang anggur (*grapevine trunk diseases*). Cendawan ini di suntikkan ke tanaman dengan posisi spora dalam keadaan istirahat. Selanjutnya, saat terjadi

infeksi cendawan patogen pendegradasi lignin, maka akan terjadi reaksi enzimatik dari cendawan *Trichoderma reesei* karena sinyal dari patogen tersebut. *Trichoderma reesei* akan berkecambah dan bersifat antagonis terhadap patogen (Gambar 2) (Peil et al, 2020).

Dalam perannya sebagai biokontrol, senyawa organik volatil (*Volatile Organic Compounds*) yang dihasilkan oleh *Trichoderma* memiliki kemampuan untuk menginduksi resistensi tanaman jika ada serangan patogen yang akan meningkatkan ketahanan tanaman (Lee et al, 2016). Dalam perannya sebagai agen biokontrol (*Biocontrol agents*), *Trichoderma spp.* memiliki fungsi utama dalam mempromosikan komunitas mikroba yang menguntungkan tanaman dan mengurangi serangan patogen melalui interaksi spesifik dengan inang-patogen (Saravanakumar et al, 2017). Aktivitas antimikroba dari cendawan *Trichoderma* memiliki spektrum yang luas dan dapat digunakan pada berbagai patogen tanaman. *T. asperellum* GDFS1009 bersifat mikoparasit terhadap cendawan *Fusarium oxysporum* dengan mengeluarkan enzim glukukanase, kitinase, dan protease (Wu et al, 2017).

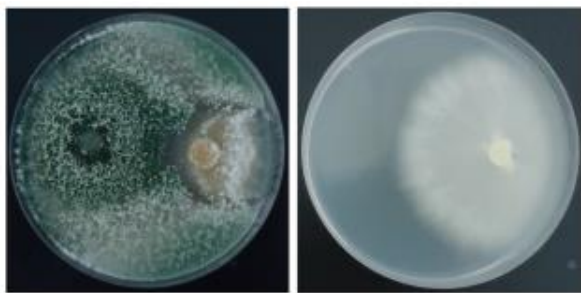


Gambar 2. Respon *Trichoderma reesei* saat terjadi serangan patogen tanaman (Peil et al, 2020)

Pada patogen *Sclerotium rolfsii*, beberapa spesies *Trichoderma* yang diujikan menunjukkan bahwa *Trichoderma koningii* merupakan isolat paling toleran dan mampu menghambat perkembangan patogen lebih baik daripada isolat *Trichoderma* lainnya (Hirpara et al, 2017). *Trichoderma atroviride* yang diujikan terhadap patogen *Fusarium avenaceum* dan *Fusarium culmorum* pada tanaman jagung sebagai *seed treatment* menunjukkan penekanan pada infeksi bibit tanaman jagung (Coninck et al, 2020). *Trichoderma asperellum* menunjukkan sifat hiperparasitisme terhadap patogen *Fusarium oxysporum* penyebab penyakit layu, dimana hifa dari

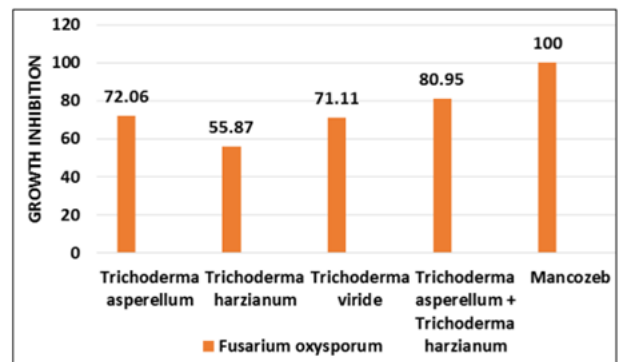
cendawan ini menyelubungi hifa cendawan patogen (Zhang et al, 2021). Pada Gambar 3 dapat dilihat perbedaan pertumbuhan cendawan *Fusarium oxysporum* jika diberikan *Trichoderma asperellum*. Penghambatan pertumbuhan patogen ini sebesar 80,82% (Wu et al, 2017).

Pada pengujian strain *Trichoderma asperellum* terhadap busuk batang jagung menunjukkan cendawan ini memiliki potensi sebagai pengendali patoogen ini dengan kemampuan penurunan penyakit sebesar 71% (Li et al, 2016). Pada penyakit busuk batang fusarium oleh *Fusarium graminearum* (FG), *Trichoderma harzianum* mampu menunjukkan aktivitas antagonis dan penekanan penyakit ini lebih dari 85% (Saravanakumar et al, 2017). Pada *Fusarium oxysporum*, *Trichoderma asperellum* dinilai mampu menghasilkan fitohormon dan sekresi enzim yang mendukung aktivitas antagonis dan parasitisme cendawan ini (Díaz-Gutiérrez et al, 2021). *Trichoderma asperellum* yang diisolasi dari perakaran pisang menunjukkan aktivitas antagonis terhadap cendawan dari genus *Fusarium* (*F. oxysporum*, *F. fujikuroi*, *F. tricinctum*, *F. cantenulatum*) (Win et al, 2021).



Gambar 3. Penghambatan pertumbuhan cendawan *Fusarium oxysporum* oleh *Trichoderma asperellum* sebesar 80,82% (kiri) dibandingkan dengan kontrol (kanan) (Wu et al, 2017).

Kemampuan berbagai spesies *Trichoderma* dalam menekan pertumbuhan cendawan *Fusarium oxysporum* dibandingkan dengan penggunaan fungisida mancozeb dapat dilihat pada Gambar 4. Meskipun tidak mampu menekan 100%, *T. asperellum* dan *T. harzianum* mampu menekan pertumbuhan patoogen tersebut hingga 80,95% (Rao et al, 2020).



Gambar 4. Kemampuan penghambatan pertumbuhan berbagai spesies *Trichoderma* dibandingkan dengan fungisida kimia terhadap *Fusarium oxysporum* (Rao et al, 2020).

4. TRICHODERMA SEBAGAI BIODEKOMPOSER

Pemberian *Trichoderma* pada bahan kompos dapat membantu proses pengomposan. Selain meningkatkan kandungan hara, pemberian cendawan ini juga mampu menjadi sumber ketahanan tanaman saat kompos di aplikasikan pada lahan pertanian. Pada bokashi dari limbah pertanian yang diberikan *Trichoderma asperellum* menunjukkan peningkatan pertumbuhan tanaman kedelai dan menekan serangan patogen *Sclerotium rolfsii* yang menyebabkan penyakit busuk batang (Gusnawaty et al, 2020). Penambahan *Trichoderma* sp. sebagai biodekomposer pada kompos yang berasal dari substrat sekam padi menunjukkan perbedaan signifikan pada C/N rasio kompos dibandingkan dengan kontrol (Saputra dkk, 2020). Pada bahan kompos yang berbeda, inokulasi *Trichoderma asperellum* dan *Pseudomonas aeruginosa* dapat mempercepat proses dekomposisi limbah nilam dan mampu memperbaiki tekstur dari kompos itu sendiri. Dalam analisis kimia kompos menunjukkan bahwa kompos yang dihasilkan sesuai dengan persyaratan standar kompos komersil (Pratiwi et al, 2021).

Trichoderma virens mampu mempercepat degradasi selulosa dan hemiselulosa dengan adanya aktivitas enzim xilanase dan selulase. Aktivitas ini memberikan efek pada waktu pengomposan yang lebih pendek dan meningkatkan kandungan hara N, P, dan K pada kompos (Amira et al., 2011). Selain *T. virens*, *Trichoderma asperellum* juga diketahui mampu memproduksi enzim hidrolitik ekstraseluler yang berfungsi untuk mendegradasi sel tanaman yang dimana hal inilah yang berperan dalam proses pengomposan (Bech et al., 2015).

5. TRICHODERMA SEBAGAI BIOFERTILIZER

Trichoderma sp. Merupakan cendawan yang dapat ditemukan pada tanah, akar, maupun daun tanaman. Cendawan ini mampu mengendalikan serangan lgerian tanaman, membantu tanaman saat

cekaman kekeringan, serta meningkatkan pertumbuhan. Pemanfaatan *Trichoderma* sebagai pupuk hayati dinilai mampu mengubah sifat tanah dan keragaman mikroba tanah sehingga dapat meningkatkan biomassa tanaman alfalfa (*Medicago sativa*) (Zhang et al, 2020).

Pada komoditas pangan misalnya pada tanaman padi, *Trichoderma* akan meningkatkan tinggi tanaman, laju fotosintesis, kandungan klorofil, jumlah anakan, jumlah malai, dan hasil gabah meningkat 30% (Doni et al, 2017). Selain itu, pada tanaman gandum *Trichoderma viride* yang diujikan pengaruhnya pada pertumbuhan dan produksi menunjukkan hasil yaitu dapat meningkatkan tinggi tanaman (4,6%), bobot malai (9,1%), bobot akar (1,5%), jumlah bulir (3,8%), hasil gabah (36,5%), dan hasil biomassa (2,7%) (Mahato et al, 2018). Pemberian *Trichoderma* dengan dosis 9000 kg/ha dapat meningkatkan biomassa padang rumput dan dapat berperan penting dalam pengolahan tanah (Zhang et al, 2018a).

Pada komoditas hortikultura, pemanfaatan *Trichoderma* juga telah banyak dilakukan. *Trichoderma* yang diaplikasikan pada kembang kol china menunjukkan hasil yaitu dapat meningkatkan tinggi tanaman (24,4%), berat segar (41,7%), dan hasil (37,4%). Pupuk hayati dari *Trichoderma* dapat meningkatkan penyerapan nutrisi dan toleransi yang selanjutnya akan meningkatkan hasil produksi pada tanaman kembang kol china (Ji et al, 2020). Pada tanaman tomat, pemberian *Trichoderma* sp. menunjukkan peningkatan tinggi tanaman dan jumlah daun tanaman tomat, dimana semakin besar dosis *Trichoderma* yang diberikan maka semakin tinggi dan banyak daun tanaman yang dihasilkan (Rizal dkk, 2019).

Di area perkebunan, *Trichoderma harzianum* dan *Trichoderma virens* dapat meningkatkan biomassa tanaman, struktur akar, kandungan hara tanah, dan aktivitas enzim dalam tanah pada pinus Mongolia (*Pinus sylvestris* var. *Mongolica*). Pada umumnya inokulasi cendawan ini berkorelasi terhadap perubahan kandungan hara pada daerah rizosfer (Halifu et al, 2019).

Cendawan mampu menghasilkan metabolit yang dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman seperti menghasilkan asam indolasetat yang merupakan hormon yang berperan dalam pertumbuhan tanaman. Hal ini menyebabkan *Trichoderma* dapat meningkatkan pertumbuhan, kandungan klorofil, kandungan pati, kandungan protein, dan fitohormon tanaman (Akladios dan Abbas, 2014).

6. DISKUSI DAN PENELITIAN KE DEPAN

Berbagai penelitian untuk mengeksplorasi cendawan *Trichoderma* telah banyak dilakukan. Mulai

dari sebagai agen biokontrol, biodegradasi, biodekomposer, biofertilizer, dan pemacu pertumbuhan tanaman. Peningkatan kemampuan dari *Trichoderma* dalam menjalani multiperannya perlu diteliti lebih lanjut. Mekanisme dan enzim yang berperan dalam prosesnya perlu diketahui untuk memaksimalkan kemampuan cendawan ini dalam pertanian ramah lingkungan

DAFTAR PUSTAKA

- Akladios, S.A. and Abbas, S.M., 2014. Application of *Trichoderma harzianum* T22 as a biofertilizer potential in maize growth. *Journal of Plant Nutrition*, 37(1), pp.30-49.
- Amira, R.D., Roshanida, A.R., Rosli, M.I., Zahrah, M.S.F., Anuar, J.M. and Adha, C.N., 2011. Bioconversion of empty fruit bunches (EFB) and palm oil mill effluent (POME) into compost using *Trichoderma virens*. *African Journal of Biotechnology*, 10(81), pp.18775-18780.
- Arfarita, N., Djuhari, D., Prasetya, B. and Imai, T., 2016. The application of *Trichoderma viride* strain frp 3 for biodegradation of glyphosate herbicide in contaminated land. *AGRIVITA, Journal of Agricultural Science*, 38(3), pp.275-281.
- Ayad, F., Matallah-Boutiba, A., Rouane-Hacene, O., Bouderbala, M. and Boutiba, Z., 2018. Tolerance of *Trichoderma* sp. To heavy metals and its antifungal activity in Algerian marine environment. *Journal of Marine Biology & Oceanography*, 7(3), p.2.
- Bech, L., Busk, P.K. and Lange, L., 2015. Cell wall degrading enzymes in *Trichoderma asperellum* grown on wheat bran. *Fungal Genomics & Biology*, 4(1), p.1000116.
- Buchicchio, A., Bianco, G., Sofo, A., Masi, S. and Caniani, D., 2016. Biodegradation of carbamazepine and clarithromycin by *Trichoderma harzianum* and *Pleurotus ostreatus* investigated by liquid chromatography-high-resolution tandem mass spectrometry (FTICR MS-IRMPD). *Science of the Total Environment*, 557, pp.733-739.
- Coninck, E., Scauflaire, J., Gollier, M., Liénard, C., Foucart, G., Manssens, G., Munaut, F. and Legrève, A., 2020. *Trichoderma atroviride* as a promising biocontrol agent in seed coating for reducing Fusarium damping-off on maize. *Journal of applied microbiology*, 129(3), pp.637-651.
- Daccò, C., Nicola, L., Temporiti, M.E.E., Mannucci, B., Corana, F., Carpani, G. and Tosi, S., 2020. *Trichoderma*: evaluation of its degrading abilities for the bioremediation of hydrocarbon complex mixtures. *Applied Sciences*, 10(9), p.3152.

- De Padua, J.C., and dela Cruz, T. E. E., 2021. Isolation and Characterization of Nickel-Tolerant *Trichoderma* Strains from Marine and Terrestrial Environments. *Journal of Fungi*, 7(8), p.591.
- Díaz-Gutiérrez, C., Arroyave, C., Llugany, M., Poschenrieder, C., Martos, S. and Peláez, C., 2021. *Trichoderma asperellum* as a preventive and curative agent to control Fusarium wilt in *Stevia rebaudiana*. *Biological Control*, 155, p.104537.
- Doni, F., Zain, C.R.C.M., Isahak, A., Fathurrahman, F., Anhar, A., Mohamad, W.N.A.W., Yusoff, W.M.W. and Uphoff, N., 2018. A simple, efficient, and farmer-friendly *Trichoderma*-based biofertilizer evaluated with the SRI Rice Management System. *Organic Agriculture*, 8(3), pp.207-223.
- Gopinath, M., Mohanapriya, C., Sivakumar, K., Baskar, G., Muthukumaran, C. and Dhanasekar, R., 2016. Biodegradation of toluene vapor in coir based upflow packed bed reactor by *Trichoderma asperellum* isolate. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(5), pp.4129-4137.
- Gusnawaty, HS., Taufik, M., La Ode Santiaji Bande, V.N., Satrah, N.P.P. and Mariadi, A.R.A., 2020. Potential of Dosage of Bokashi from Agricultural Waste and Bio-decomposer *Trichoderma asperellum* on Growth of Three Varieties of Soybean, and Disease Incidence of Stem Rot Caused by *Sclerotium rolfsii*.
- Hadibarata, T., Syafiuddin, A., Al-Dhabaan, F.A. and Elshikh, M.S., 2018. Biodegradation of Mordant orange-1 using newly isolated strain *Trichoderma harzianum* RY44 and its metabolite appraisal. *Bioprocess and biosystems engineering*, 41(5), pp.621-632.
- Halifu, S., Deng, X., Song, X. and Song, R., 2019. Effects of two *Trichoderma* strains on plant growth, rhizosphere soil nutrients, and fungal community of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* annual seedlings. *Forests*, 10(9), p.758.
- Herliana, O., Soesanto, L. and Mawadah, E., 2018. Phytobioremediation of cadmium-contaminated soil using combination of *Ipomoea reptans* Poir and *Trichoderma* sp. and its effect on spinach growth and yield. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 6(1), p.1519.
- Hirpara, D.G., Gajera, H.P., Hirapara, J.G. and Golakiya, B.A., 2017. Inhibition coefficient and molecular diversity of multi stress tolerant *Trichoderma* as potential biocontrol agent against *Sclerotium rolfsii* Sacc. *Infection, Genetics and Evolution*, 55, pp.75-92.
- Huang, Y., Xiao, L., Li, F., Xiao, M., Lin, D., Long, X., & Wu, Z. (2018). Microbial degradation of pesticide residues and an emphasis on the degradation of cypermethrin and 3-phenoxy benzoic acid: a review. *Molecules*, 23(9), 2313.
- Hussain, D.F. and Mutlag, N.H., 2021, June. Assessment the ability of *Trichoderma harzianum* Fungi in Bioremediation of some of Heavy Metals in Waste Water. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 790, No. 1, p. 012087). IOP Publishing.
- Ji, S., Liu, Z., Liu, B., Wang, Y. and Wang, J., 2020. The effect of *Trichoderma* biofertilizer on the quality of flowering Chinese cabbage and the soil environment. *Scientia Horticulturae*, 262, p.109069.
- Lawrance, I., Sivarajani, V., Selvakumar, A.M., Khambhaty, Y. and Saravanan, P., 2018. Biodegradation of phenolic resin used in leather processing by laccase producing *Trichoderma aureoviridae*. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(11), pp.6857-6862.
- Lee, S., Yap, M., Behringer, G., Hung, R. and Bennett, J.W., 2016. Volatile organic compounds emitted by *Trichoderma* species mediate plant growth. *Fungal biology and biotechnology*, 3(1), pp.1-14.
- Li, Y., Sun, R., Yu, J., Saravanakumar, K. and Chen, J., 2016. Antagonistic and biocontrol potential of *Trichoderma asperellum* ZJSX5003 against the maize stalk rot pathogen *Fusarium graminearum*. *Indian journal of microbiology*, 56(3), pp.318-327.
- Mahato, S., Bhuju, S. and Shrestha, J., 2018. Effect of *Trichoderma viride* as biofertilizer on growth and yield of wheat. *Malaysian Journal of Sustainable Agriculture*, 2(2), pp.01-05.
- Maldaner, J., Steffen, G.P.K., Missio, E.L., Saldanha, C.W., de Moraes, R.M. and Nicoloso, F.T., 2021. Tolerance of *Trichoderma* isolates to increasing concentrations of heavy metals. *International Journal of Environmental Studies*, 78(2), pp.185-197.
- Manasfi, R., Chiron, S., Montemurro, N., Perez, S. and Brienza, M., 2020. Biodegradation of fluoroquinolone antibiotics and the climbazole fungicide by *Trichoderma* species. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(18), pp.23331-23341.
- Mazrou, Y.S., Neha, B., Kandoliya, U.K., Srutiben, G., Hardik, L., Gaber, A., Awad, M.F. and Hassan, M.M., 2020. Selection and characterization of novel zinc-tolerant *Trichoderma* strains obtained by protoplast fusion. *Journal of Environmental Biology*, 41(4), pp.718-726.

- Nongmaithem, N., Roy, A. and Bhattacharya, P.M., 2016. Screening of *Trichoderma* isolates for their potential of biosorption of nickel and cadmium. *Brazilian journal of microbiology*, 47, pp.305-313.
- Nykiel-Szymańska, J., Bernat, P. and Słaba, M., 2018. Potential of *Trichoderma koningii* to eliminate alachlor in the presence of copper ions. *Ecotoxicology and environmental safety*, 162, pp.1-9.
- Oshiquiri, L.H., Dos Santos, K.R.A., Junior, S.A.F., Steindorff, A.S., Barbosa Filho, J.R., Mota, T.M., Ulhoa, C.J. and Georg, R.C., 2020. *Trichoderma harzianum* transcriptome in response to cadmium exposure. *Fungal Genetics and Biology*, 134, p.103281.
- Peil, S., Beckers, S.J., Fischer, J. and Wurm, F.R., 2020. Biodegradable, lignin-based encapsulation enables delivery of *Trichoderma reesei* with programmed enzymatic release against grapevine trunk diseases. *Materials Today Bio*, 7, p.100061.
- Pratiwi, V., Oktarina, H. and Sriwati, R., 2021, February. The potential of *Trichoderma* spp. and *Pseudomonas auregenosa* as patchouli waste decomposer. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 667, No. 1, p. 012019). IOP Publishing.
- Rao, Y.V., Vemavarapu, V.V. and Chowdary, K.R., 2020. Effect of *Trichoderma* spp., botanicals and fungicides against *Fusarium oxysporum*. *IJCS*, 8(5), pp.2115-2119.
- Rizal, S., Novianti, D. and Septiani, M., 2019. Pengaruh Jamur *Trichoderma* Sp Terhadap Pertumbuhan Tanaman Tomat (*Solanum Lycopersicum* L.). *Indobiosains*, 1(1). Vol 1. No. 1 Edisi Februari 2019
- Rosmana, A., Sakrabani, R., Sjam, S., Nasaruddin, N., Asman, A. and Pandin, B.Y.S., 2019, January. Plant residue based-composts applied in combination with *Trichoderma asperellum* improve cacao seedling growth in soil derived from nickel mine area. *Pakistan Agricultural Scientists Forum*.
- Salami, A.O. and Adebisi, K.A., 2017. Yield Performance and Heavy Metals Uptake of *Solanum lycopersicum*, Inoculated with *Pseudomonas aeruginosa* and *Trichoderma harzianum*. *Archives of Current Research International*, pp.1-12.
- Saputra, R.A., Sari, N. and Rizki, I., 2020. Status Fisika-Kimia Kompos Berbahan Dasar Daun Akasia, Sekam Padi Dan Kulit Udang Menggunakan Biodekomposer *Trichoderma* Sp. Dan Bakteri Selulolitik. In *Prosiding Seminar Nasional Lingkungan Lahan Basah* (Vol. 5, No. 3, pp. 109-115).
- Saravanakumar, K., Li, Y., Yu, C., Wang, Q.Q., Wang, M., Sun, J., Gao, J.X. and Chen, J., 2017. Effect of *Trichoderma harzianum* on maize rhizosphere microbiome and biocontrol of *Fusarium* Stalk rot. *Scientific reports*, 7(1), pp.1-13.
- Shabani, M., Pontié, M., Younesi, H., Nacef, M., Rahimpour, A., Rahimnejad, M. and Khelladi, R.M.B., 2021. Biodegradation of acetaminophen and its main by-product 4-aminophenol by *Trichoderma harzianum* versus mixed biofilm of *Trichoderma harzianum*/*Pseudomonas fluorescens* in a fungal microbial fuel cell. *Journal of Applied Electrochemistry*, 51(4), pp.581-596.
- Shanmugam, S., Ulaganathan, P., Swaminathan, K., Sadhasivam, S. and Wu, Y.R., 2017. Enhanced biodegradation and detoxification of malachite green by *Trichoderma asperellum* laccase: degradation pathway and product analysis. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 125, pp.258-268.
- Sharma, P.R.A.T.I.B.H.A., Sharma, M., Raja, M., Singh, D.V. and Srivastava, M., 2016. Use of *Trichoderma* spp. in biodegradation of Carbendazim. *Indian J. Agric. Sci*, 86(7), pp.59-62.
- Sun, H., Wu, L., Hao, Y., Liu, C., Pan, L. and Zhu, Z., 2020a. Tolerance mechanism of *Trichoderma asperellum* to Pb 2+: response changes of related active ingredients under Pb 2+ stress. *RSC Advances*, 10(9), pp.5202-5211.
- Sun, H., Meng, M., Wu, L., Zheng, X., Zhu, Z. and Dai, S., 2020b. Function and mechanism of polysaccharide on enhancing tolerance of *Trichoderma asperellum* under Pb2+ stress. *International journal of biological macromolecules*, 151, pp.509-518.
- Venice, F., Davolos, D., Spina, F., Poli, A., Prigione, V.P., Varese, G.C. and Ghignone, S., 2020. Genome Sequence of *Trichoderma lixii* MUT3171, A Promising Strain for Mycoremediation of PAH-Contaminated Sites. *Microorganisms*, 8(9), p.1258.
- Win, T.T., Bo, B., Malec, P., Khan, S. and Fu, P., 2021. Newly isolated strain of *Trichoderma asperellum* from disease suppressive soil is a potential bio-control agent to suppress *Fusarium* soil borne fungal phytopathogens. *Journal of Plant Pathology*, 103(2), pp.549-561.
- Wu, Q., Sun, R., Ni, M., Yu, J., Li, Y., Yu, C., Dou, K., Ren, J. and Chen, J., 2017. Identification of a novel fungus, *Trichoderma asperellum* GDFS1009, and comprehensive evaluation of its biocontrol efficacy. *PloS one*, 12(6), p.e0179957.

- Wu, Q., Ni, M., Wang, G., Liu, Q., Yu, M. and Tang, J., 2018. Omics for understanding the tolerant mechanism of *Trichoderma asperellum* TJ01 to organophosphorus pesticide dichlorvos. BMC genomics, 19(1), pp.1-12.
- Zhang, C., Wang, W., Xue, M., Liu, Z., Zhang, Q., Hou, J., Xing, M., Wang, R. and Liu, T., 2021. The combination of a biocontrol agent *Trichoderma asperellum* SC012 and hymexazol reduces the effective fungicide dose to control fusarium wilt in cowpea. Journal of Fungi, 7(9), p.685.
- Zhang, F., Huo, Y., Cobb, A.B., Luo, G., Zhou, J., Yang, G., Wilson, G.W. and Zhang, Y., 2018a. *Trichoderma* biofertilizer links to altered soil chemistry, altered microbial communities, and improved grassland biomass. Frontiers in microbiology, 9, p.848.
- Zhang, F., Xu, X., Wang, G., Wu, B. and Xiao, Y., 2020. *Medicago sativa* and soil microbiome responses to *Trichoderma* as a biofertilizer in alkaline-saline soils. Applied Soil Ecology, 153, p.103573.
- Zhang, X., Li, X., Yang, H. and Cui, Z., 2018b. Biochemical mechanism of phytoremediation process of lead and cadmium pollution with *Mucor circinelloides* and *Trichoderma asperellum*. Ecotoxicology and environmental safety, 157, pp.21-28.