



AGROPROSS
National Conference
Proceedings of Agriculture

Prosiding
Seminar dan Bimbingan Teknis Pertanian Politeknik Negeri Jember 2026
Pertanian Masa Depan Indonesia 2045 : Transformasi Teknologi, Ketahanan Pangan dan Adaptasi terhadap Tantangan Global
3 Juni 2026

Publisher:
Agropross, National Conference Proceedings of Agriculture
E-ISSN: 2964-0172
DOI:

Peran Mikroba Rhizosfer dalam Pengendalian Penyakit Busuk Batang Jagung yang Disebabkan oleh *Fusarium verticillioides*: Mekanisme dan Prospeknya

*The Role of Rhizosphere Microbes in Controlling Corn Stem Rot Disease Caused by *Fusarium verticillioides*: Mechanism and Prospects*

Author(s): Suriani^{1*}, Fandi Abdullah Nadir², Ida Susi Risnawati²

¹Pusat Penelitian Tanaman Pangan, Organisasi Riset Pertanian dan Pangan, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Cibinong, Indonesia

²Penyuluh Pertanian, Kementerian Pertanian

*Corresponding author: surianipalla@gmail.com

ABSTRAK

Penyakit busuk batang pada jagung yang disebabkan infeksi *Fusarium verticillioides* merupakan salah satu penyakit penting yang dapat menurunkan produktivitas dan kualitas hasil. Infeksi patogen ini menyebabkan pembusukan pada batang dan tongkol sehingga menghambat pertumbuhan tanaman. Selain itu, *F. verticillioides* diketahui mampu menghasilkan mikotoksin, terutama fumonisin pada biji jagung yang berpotensi membahayakan kesehatan manusia dan ternak yang mengonsumsinya. Fumonisin juga dikenal sebagai karsinogen potensial dan menjadi perhatian global karena merupakan kontaminan umum pada sereal dan produk pangan olahannya. Selama ini, pengendalian penyakit masih bergantung pada penggunaan pestisida sintetik, yang dalam jangka panjang dapat menimbulkan resistensi patogen dan kerusakan lingkungan. Oleh karena itu, pemanfaatan mikroba rhizosfer sebagai agen pengendali hayati menjadi salah satu pendekatan yang menjanjikan dalam pengelolaan penyakit tanaman secara berkelanjutan. Artikel review ini bertujuan untuk mengulas peran mikroba rhizosfer dalam mengendalikan *F. verticillioides*, patogen tular tanah yang penting pada tanaman jagung. Pembahasan mencakup karakteristik patogen, potensi mikroba rizosfer sebagai agensi hayati, dan mekanisme penekanan mikroba rhizosfer terhadap *F. verticillioides*. Selain itu, artikel ini juga meninjau perkembangan penelitian terkini serta prospek dan tantangan pemanfaatan mikroba rizosfer sebagai agensi hayati yang ramah lingkungan.

Kata Kunci:

Agen
biokontrol;
Cendawan
rhizosfer;
Fumonisin;
Patogen
tanaman;
Rhizobakteri

Keywords:

Biocontrol
agents;
Fumonisin;
Plant pathogen;
Rhizobacteria;
Rhizosphere
fungi

ABSTRACT

Maize stalk rot disease caused by *Fusarium verticillioides* infection is a significant disease that can reduce productivity and yield quality. This pathogenic infection causes stalk and cob rot, which inhibits plant growth. Furthermore, *F. verticillioides* contaminate maize kernels with mycotoxins, particularly fumonisin, which adversely affect human and livestock health. Fumonisin are also known as potential carcinogens and are a global concern because they are common contaminants in cereals and processed food products. Currently, disease control relies on the use of synthetic pesticides, which can lead to pathogen resistance and long-term environmental damage. Therefore, the use of rhizosphere microbes as biological control agents is a promising approach to sustainable plant disease management. This review aims to examine the role





AGROPROSS
National Conference
Proceedings of Agriculture

Prosiding

Seminar dan Bimbingan Teknis Pertanian Politeknik Negeri Jember 2026
Pertanian Masa Depan Indonesia 2045 : Transformasi Teknologi, Ketahanan Pangan dan Adaptasi terhadap Tantangan Global
3 Juni 2026

Publisher:

Agropross, National Conference Proceedings of Agriculture

E-ISSN: 2964-0172

DOI:

*of rhizosphere microbes in the control of *F. verticilloides*, an important soilborne pathogen in maize. The discussion includes the characteristics of the pathogen, the potential of rhizosphere microbes as biological agents, the mechanisms of rhizosphere microbe suppression against *F. verticilloides*, and appropriate and efficient biocontrol formulation technologies. This article also reviews the latest research developments as well as the prospects and challenges of utilizing rhizosphere microbes as environmentally friendly biological agents.*

PENDAHULUAN

Penyakit busuk batang jagung yang disebabkan oleh infeksi *Fusarium verticilloides* merupakan salah satu penyakit penting tanaman jagung, termasuk di Indonesia. Gejala yang muncul akibat akumulasi *F. verticilloides* dalam jaringan tanaman jagung berupa daun menjadi layu, lama-kelamaan menggulung. Batang berubah warna menjadi coklat dan busuk kering, biasanya tumbuh miselium berwarna putih hingga merah muda pada batang (Suriani dkk. 2021). Penumpukan miselium *F. verticilloides* pada jaringan tanaman menyebabkan terhambatnya aliran unsur hara, metabolisme tanaman terganggu sehingga tongkol tidak berkembang secara normal dan sebagian tanaman mati sebelum waktunya (Jambhulkar dkk. 2021).

Penyakit busuk batang *Fusarium* dapat ditemukan sejak awal pertumbuhan tanaman hingga panen dengan pola pergerakan ke atas tanaman yang terinfeksi. Selain menginfeksi batang, *F. verticilloides* juga menginfeksi tongkol dan secara signifikan dapat menurunkan kualitas dan kuantitas hasil panen (Bryła dkk. 2022). Dampak lain dari infeksi *F. verticilloides* adalah adanya toksin fumonisin yang dihasilkan dan dapat terakumulasi dalam biji jagung. Hal ini tidak hanya dapat menyebabkan kerugian ekonomi tetapi juga dapat bersifat karsinogenisitas atau teratogenisitas dan

dapat tertinggal dalam bahan pangan yang dapat masuk ke dalam tubuh manusia dan menimbulkan ancaman serius bagi kesehatan manusia (Qu dkk. 2022). Hal ini menyebabkan pencegahan keberadaannya dalam makanan sangat diutamakan dibandingkan dengan eliminasinya pada bahan pangan (Omotayo and Babalola 2023).

Keresahan petani jagung akibat penyakit busuk batang mulai dilaporkan pada beberapa tahun terakhir ini. (Oktaviani dkk. 2023) melaporkan bahwa penyakit busuk batang ditemukan menyebar ke seluruh wilayah pengembangan jagung di Kabupaten Tanah Laut, Kalimantan Selatan dengan insidensi penyakit 11-50,4%. Perkembangan penyakit busuk batang dapat dipicu oleh perubahan iklim yang mendukung reproduksi patogen. Selain itu, kemampuan hidup *F. verticilloides* pada tanah atau sisa tanaman dapat menjadi sumber inoculum untuk berkembangnya penyakit pada periode penanaman berikutnya.

Pengendalian penyakit tanaman umumnya dilakukan dengan penggunaan pestisida sintetik yang dapat memicu munculnya resistensi patogen dan pencemaran lingkungan. Oleh karena itu, perkembangan penyakit busuk batang jagung dapat dicegah dengan melakukan tindakan pengendalian preventif, termasuk penggunaan Agen Pengendali Hayati

(APH). Penerapan APH sebagai metode pengendalian dapat memberikan harapan besar dalam pendekatan pertanian berkelanjutan (Mae Taping dkk. 2023). APH dapat diaplikasikan pada tahap benih, tahap vegetatif, dan tahap generatif (Diniz dkk. 2022). Mikroba ini dapat mengendalikan patogen tanaman melalui mekanisme antibiotik, kompetitif, dan parasit. Mikroba rizosfer merupakan salah satu APH yang dilaporkan efektif dalam menekan patogen yang ditularkan melalui tanah dan benih. Kemampuan mikroba rizosfer, termasuk bakteri dan cendawan untuk bertahan hidup secara saprofit dan mengkolonisasi akar tanaman berpotensi menimbulkan resistensi tanaman (Zhu dkk. 2022). Selain berperan sebagai agen hayati, mikroba rizosfer juga dapat merangsang pertumbuhan tanaman. Sebagai agen hayati, mikroba ini menghasilkan senyawa antijamur dan beberapa enzim hidrolitik ekstraseluler.

Kemampuan menghasilkan metabolit sekunder yang bersifat antimikroba, menginduksi ketahanan sistemik tanaman (*Induced Systemic Resistance* atau ISR), dan memacu pertumbuhan tanaman menjadi dasar peran strategis mikroba tersebut dalam menekan *F. verticilloides*. Dalam konteks produksi jagung, keberadaan patogen ini menjadi ancaman serius terhadap stabilitas hasil. Berdasarkan hal tersebut, artikel ini mengulas peran mikroba rizosfer dalam mengendalikan *F. verticilloides* termasuk karakteristik patogen, potensi mikroba rizosfer sebagai agensia hayati, mekanisme kerja mikroba rizosfer dalam menekan perkembangan *F. verticilloides*, teknologi formulasi biokontrol yang tepat dan efisien. Selain itu, artikel ini juga meninjau perkembangan penelitian terkini serta prospek dan tantangan pemanfaatan mikroba rizosfer sebagai agensia hayati yang ramah lingkungan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik *Fusarium verticilloides*, patogen penyebab penyakit busuk batang jagung

Fusarium verticilloides merupakan cendawan patogen yang tergolong dalam kelas Deuteromycetes dan ordo Moniliales, yang sebelumnya di kenal dengan *Fusarium moniliforme*. Cendawan ini relatif mudah ditumbuhkan pada media buatan, dengan pertumbuhan awal berupa miselia berwarna putih yang kemudian berkembang menjadi pigmen ungu seiring bertambahnya umur koloni. Setelah diinkubasi selama 7 hari, diameter koloni *F. verticilloides* pada media buatan berkisar antara 6,37 hingga 8,5 (Kaur dkk. 2016).

Fusarium verticilloides memproduksi dua tipe konidia yaitu menghasilkan mikrokonidia dan makrokonidia, yang teridentifikasi melalui pengamatan mikroskopis (Gambar 1b,c). Makrokonidia dihasilkan dalam jumlah melimpah yang tersusun dalam rantai panjang dan kelompok, berbentuk oval hingga gada dengan ukuran 6,5-8,5 μm x 2,5-3,0 μm (Jambhulkar dkk, 2021). Selain itu, makrokonidia yang dihasilkan berbentuk panjang dan melengkung di ujung. Ukuran makrokonidia berkisar 40,0 $\mu\text{m} \pm 1,0$ x 2,3 $\mu\text{m} \pm 1,0$ dengan 3-5 sekat, dinding tipis dengan bentuk bulan sabit (Harish dkk, 2023): (Pascual dkk, 2016)



Gambar 1. (a) Koloni *F. verticilloides* pada media buatan; (b) Mikrokonidia; (c) Makrokonidia; (d) Gejala busuk batang pada jagung akibat infeksi *F. verticilloides*, jaringan batang menunjukkan nekrosis, perubahan warna menjadi coklat pucat hingga gelap, serta degradasi jaringan

internal (Sumber: Koleksi pribadi; (Suriani dkk., 2020); Suriani dkk., 2021).

Patogen ini diketahui mampu menginfeksi berbagai jenis tanaman, terutama kelompok serealia seperti jagung, padi, dan sorgum (Deepa and Sreenivasa, 2017); Suriani dkk., 2021). Pada tanaman jagung, infeksi pada batang menyebabkan perubahan warna pada ruas batang bawah, diikuti dengan daun yang berubah menjadi abu-abu dan layu. Selain itu, terjadi pembusukan pada empulur dan korteks batang yang ditandai dengan perubahan warna menjadi coklat pucat hingga gelap seperti pada Gambar 1d (Suriani dkk., 2020). Pada kondisi infeksi lebih berat, empulur pada ruas batang bawah dapat mengalami pembusukan lebih lanjut hingga terlepas dari kulit batang, sehingga batang menjadi lunak (Mirsam dkk., 2022)

Secara epidemiologis, *F. verticillioides* merupakan salah satu patogen utama yang terus mengancam stabilitas produksi jagung. Patogen ini memiliki kemampuan bertahan pada berbagai kondisi lingkungan, termasuk suhu tinggi, sehingga mendukung keberlangsungan inoculum di lapangan (Czembor dkk., 2015). Selain itu, *F. verticillioides* menghasilkan spora yang mudah tersebar melalui udara, yang berkontribusi terhadap distribusinya yang luas. Sebagai patogen tular tanah, cendawan ini merupakan bagian dari komunitas mikroba di rizosfer jagung dan mampu menginfeksi tanaman melalui akar maupun benih yang terkontaminasi (Omotayo and Babalola 2023). Setelah infeksi awal terjadi, patogen berkembang dan menyebar secara sistemik ke seluruh bagian tanaman. Secara umum, siklus infeksi patogen ini pada tanaman jagung diilustrasikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Siklus infeksi *F. verticillioides* yang menyebabkan penyakit busuk batang pada tanaman jagung.

Potensi mikroba rizosfer sebagai agensia hayati

Keberadaan *F. verticillioides* di areal pertanaman jagung merupakan tantangan serius dalam menjaga stabilitas produksi. Oleh karena itu, diperlukan teknologi pencegahan yang mampu menekan perkembangan patogen secara berkelanjutan. Salah satu pendekatan yang potensial adalah pemanfaatan agensia hayati, khususnya mikroba rizosfer yang mampu mengkolonisasi perakaran serta bertahan hidup secara saprofitik di lingkungan rizosfer. Selain lebih ramah lingkungan, penggunaan agensia hayati juga memiliki target yang lebih spesifik. Omotayo and Babalola (2023) melaporkan bahwa mikroba rizosfer dari genus *Bacillus*, *Enterobacter*, dan *Pseudomonas* efektif menekan *F. verticillioides*. Bakteri golongan *Bacillus* memiliki kemampuan bertahan hidup dibawah kondisi konsentrasi oksigen rendah (Nakano dan Hulett, 1997). Aplikasi bakteri antagonis ini dapat dilakukan melalui perlakuan tanah maupun pelapisan benih jagung menggunakan suspensi bakteri. Pendekatan tersebut tidak hanya menekan patogen di rizosfer, tetapi juga di spermosfer, sehingga mampu mencegah infiltrasi patogen ke dalam jaringan tanaman pada fase awal pertumbuhan (Pereira dkk., 2007). *Bacillus subtilis* BNT4 dan TM3 yang diisolasi dari rizosfer jagung efektif menekan penyakit busuk

batang *Fusarium* (Suriani. dkk. 2018) Suriani dkk., 2020). Bakteri antagonis ini diformulasikan dalam bentuk tepung sehingga memudahkan aplikasi di tanaman. Isolat *Streptomyces* (dengan kode DAUFPE 11470 dan DAUFPE 14632), yang diisolasi dari tanah rizosfer jagung, telah terbukti efektif dalam mengendalikan *Stenocarpella maydis* pada jagung (Bressan dan Figueiredo, 2005).

Efektivitas *B. subtilis* dalam menekan infeksi penyakit busuk batang *Fusarium* pada jagung juga dilaporkan oleh (Wang dkk., 2025a). Pelapisan benih jagung dengan *B. subtilis* A3 menunjukkan pertumbuhan benih lebih baik dari kontrol, dengan penekanan infeksi penyakit busuk batang hingga 45,75% serta peningkatan hasil panen sebesar 3,6%. Senyawa volatil yang diproduksi bakteri ini menunjukkan aktivitas antibakteri yang signifikan, dengan spektrum antibakteri yang selaras dengan strain biokontrol.

Mikroba rizosfer dari golongan cendawan yang banyak dilaporkan sebagai agen hayati berasal dari genus *Trichoderma*. Cendawan ini dikenal sebagai pengkolonisasi akar secara interseluler yang mampu membangun dialog molekuler dengan tanaman inang, sehingga berkontribusi terhadap peningkatan pertumbuhan serta penguatan respons pertahanan terhadap berbagai patogen (Yan dkk., 2019). *Trichoderma* spp. juga memiliki kemampuan dalam memodulasi metabolisme tanaman dan sistem pertahanannya. Aktivitas ini berkaitan dengan stimulasi berbagai gen yang terlibat dalam mekanisme pertahanan (*pathogenesis-related genes*), sehingga meningkatkan kemampuan tanaman dalam menghadapi infeksi patogen (Elsharkawy, 2020).

Beberapa mikroba rizosfer yang dilaporkan efektif dalam menekan perkembangan penyakit busuk batang jagung (Tabel 1). Aplikasi mikroba tersebut dapat melalui penyelubungan

benih (*seed coating*) maupun disemprotkan langsung ke tanaman.

Tabel 1. Mikroba rizosfer yang potensial sebagai agen hayati dalam mengendalikan penyakit busuk batang jagung.

Mikroba Rizosfer	Metode Aplikasi	Reference
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	<i>Seed coating</i>	Pereira dkk., 2007
<i>Bacillus subtilis</i> TM 3	<i>Seed coating</i> dan <i>spray</i>	Suriani dkk. 2021
<i>Bacillus subtilis</i> A3	<i>Seed coating</i>	Wang dkk. 2025a
<i>Bacillus</i> spp.	Aplikasi suspensi bakteri ke batang	Han dkk. 2015
<i>Trichoderma</i> sp.	Kombinasi dengan sintetik berbahan aktif difenokonazol	Wang dkk. 2025b

Mekanisme kerja mikroba rizosfer sebagai agen hayati

Sebagai agen pengendali hayati, mikroba mampu meningkatkan ketahanan tanaman terhadap patogen melalui berbagai mekanisme. Mekanisme tersebut termasuk kompetisi ruang dan nutrisi, produksi senyawa antibiotik dan induksi respon ketahanan tanaman melalui produksi senyawa metabolit tertentu (Liza dkk., 2015; Syaifudin and Kasiamdari 2022). Enzim hidrolitik utama yang dihasilkan oleh bakteri biokontrol meliputi kitinase, selulase, protease, lipase, glukonase, dan amilase. Enzim-enzim tersebut bekerja dengan mendegradasi komponen penting fitopatogen, seperti dinding sel, protein, dan DNA, sehingga menjadi mekanisme biokontrol yang andal (Riseh dkk., 2024).

Berbagai penelitian telah membuktikan efektivitas enzim hidrolitik yang diproduksi oleh agen pengendali hayati dalam menghambat patogen tanaman. Myo dkk. (2019) mengungkapkan bahwa bakteri penghasil kitinase, *Bacillus velezensis*, secara signifikan menekan perkembangan *F.*

oxysporum serta beberapa patogen lain seperti *Alternaria alternata*, *Botrytis cinerea*, *Ustilaginoidea virens*, dan *Fulvia fulva*. Selain itu, supernatan yang merupakan ekstrak enzim kasar dari bakteri antagonis *Bacillus cereus* dan *Bacillus subtilis* dilaporkan mampu menghambat pertumbuhan *F. oxysporum* hingga 80%.

Trichoderma dikenal sebagai agen hayati yang efektif dalam mengendalikan patogen tanaman karena kemampuannya menghasilkan berbagai metabolit sekunder bioaktif, seperti terpen, piron, gliotoksin, gliovirin, dan peptaibol (Vinale dkk., 2008). Selain itu, spesies seperti *Trichoderma asperellum* dilaporkan berperan dalam pengendalian patogen tular tanah melalui beragam mekanisme antagonisme, meliputi kompetisi, antibiosis, dan parasitisme (Benítez dkk., 2004). Mekanisme tersebut juga berkaitan dengan kemampuan Trichoderma dalam menginduksi ketahanan sistemik tanaman, yang efektivitasnya dipengaruhi oleh ketersediaan nutrisi dan komposisi bahan organik tanah, seperti karbohidrat lignoselulosa, kitin, dan lipid (Hoitink dkk., 2006). Melalui kombinasi mekanisme tersebut, *T. asperellum* mampu menekan tingkat infeksi patogen hingga sekitar 60% pada kondisi in vitro (Zhang dkk., 2021).

Prospek dan tantangan pemanfaatan mikroba rizosfer sebagai agen pengendali hayati

Serangan patogen pada tanaman dapat menurunkan baik kuantitas maupun kualitas hasil, sehingga upaya pengendalian menjadi sangat penting. Saat ini, strategi pengendalian patogen mulai diarahkan pada pendekatan yang lebih

ramah lingkungan dengan mempertimbangkan keseimbangan ekosistem serta kesehatan manusia. Salah satu alternatif yang berkembang adalah penggunaan biopestisida sebagai teknologi pengendalian hayati yang berpotensi besar untuk terus dikembangkan di Indonesia. Beberapa penelitian yang dilaporkan sebelumnya terkait pemanfaatan mikroba *indigenous* asal rizosfer jagung untuk mengendalikan penyakit busuk batang jagung yang disebabkan oleh *F. verticillioides*. Dimana mikroba tersebut selain bertindak sebagai agen antagonis, juga memberikan pengaruh positif terhadap viabilitas dan vigor benih jagung melalui mekanisme fisiologi dalam melarutkan fosfat, kalium, dan menghasilkan enzim protease secara in-planta pada tray semai (Mirsam dkk. 2021; Suriani dkk., 2021).

Perkembangan teknologi biopestisida berlangsung pesat karena sifatnya yang lebih aman bagi lingkungan, mudah terurai oleh sinar matahari, serta dapat tercuci oleh tanah (Schumann and D'Arcy, 2012). Selain itu, biopestisida tidak memicu terbentuknya biotipe atau ras baru hama dan penyakit, serta tidak menyebabkan resistensi (Kardinan, 2004). Namun demikian, di Indonesia masih relatif sedikit tersedia agen hayati yang efektif dalam menekan perkembangan penyakit tanaman. Penggunaan biopestisida juga kurang diminati oleh petani karena efek kerjanya tidak secepat pestisida kimia. Oleh karena itu, biopestisida lebih tepat digunakan sebagai tindakan pencegahan (*preventif*) sebelum terjadi serangan hama dan penyakit, bukan sebagai tindakan pengobatan (*kuratif*).

Penyakit busuk batang jagung yang disebabkan oleh *F. verticillioides* merupakan salah satu penyakit utama yang berkontribusi terhadap penurunan produktivitas jagung. Pemanfaatan

KESIMPULAN

mikroba rizosfer sebagai agen pengendali hayati memiliki prospek yang menjanjikan, mengingat patogen ini bersifat tular tanah. Berbagai genus mikroba rizosfer, seperti *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Enterobacter*, dan *Trichoderma*, telah dilaporkan efektif dalam menekan perkembangan *F. verticillioides*. Pengembangan mikroba rizosfer sebagai agen hayati memerlukan formulasi yang tepat, stabil, dan efisien agar mudah diaplikasikan oleh petani di lapangan. Namun demikian, implementasi teknologi berbasis mikroba rizosfer dalam pengendalian organisme pengganggu tumbuhan (OPT) masih menghadapi sejumlah kendala yang perlu diatasi, baik dari aspek efektivitas, konsistensi di lapangan, maupun adopsi oleh pengguna.

DAFTAR PUSTAKA

- Bressan, W., and Figueiredo, J. (2005). Biological control of *Stenocarpella maydis* in maize seed with antagonistic *Streptomyces* sp. isolates. *J. phytopathol.* 153 (10), 623–626. doi:10.1111/j.1439-0434.2005.01014.x
- Bryła M, Pierzgalski A, Zapaśnik A, dkk (2022) Recent Research on Fusarium Mycotoxins in Maize—A Review. *Foods* 11: 3465. <https://doi.org/10.3390/foods11213465>
- Czembor E, Stępień Ł, Waśkiewicz A (2015) Effect of environmental factors on Fusarium species and associated mycotoxins in maize grain grown in Poland. *PLoS One* 10:1–18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0133644>
- Deepa N, Sreenivasa M (2017) *Fusarium verticillioides*, a globally important pathogen of agriculture and livestock: A review. *J Vet Med Res* 4:1084
- Diniz GFD, Figueiredo JEF, Lana UGP, dkk (2022) Microorganisms from corn stigma with biocontrol potential of *Fusarium verticillioides*. *Brazilian Journal of Biology* 82:e262567. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.262567>
- Elsharkawy, M.M. 2020. *Trichoderma* genes for improving plant resistance to the pathogens. Editor(s): Vijai Kumar Gupta, Susanne Zeilinger, Harikesh Bahadur Singh, Irina Druzhinina, New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering, Elsevier, Pages 157-170. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819453-9.00007-6>
- Han J-H, Park G-C, Kim J-O, Kim KS (2015) Biological control of fusarium stalk rot of maize using *Bacillus* spp. *Research in Plant Disease* 21:280–289. <https://doi.org/10.5423/rpd.2015.21.4.280>
- Harish J, Jambhulkar P.P., Bajpai R. (2023) Morphological characterization, pathogenicity screening, and molecular identification of Fusarium spp. isolates causing post-flowering stalk rot in maize. *Front Microbiol* 14:1–16. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1121781>
- Hoitink HA, Madden LV, Dorrance AE. Systemic Resistance Induced by *Trichoderma* spp.: Interactions Between the Host, the Pathogen, the Biocontrol Agent, and Soil Organic Matter Quality. *Phytopathology*. 2006 Feb;96(2):186-9. doi: 10.1094/PHYTO-96-0186.
- Jambhulkar PP, Raja M, Singh B, dkk (2021) Potential native *Trichoderma* strains against *Fusarium verticillioides* causing post flowering stalk rot in winter maize. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105838>
- Kaur H, Mohan C, Hunjan MS (2016) Morphological and pathological

- characterization of *Fusarium verticillioides* from different maize growing areas of Punjab. *Indian Phytopath.* 69 (2) : 190-194.
- Liza E, Adrinal A, Trisno J (2015) Variability of Fungal Rhizosphere and Its Role as Antagonist Agents of *Fusarium oxysporum* Causing Wilt Disease in *Crysanthemum* sp. *Jurnal Fitopatologi Indonesia* 11:68–72. <https://doi.org/10.14692/jfi.11.2.68>
- Mae Taping JF, Borja BT, Lloyd Bretaña BP, dkk (2023) Fungal endophytes as potential biocontrol agent of Panama disease of banana. *Egypt J Biol Pest Control* 33:84. <https://doi.org/10.1186/s41938-023-00727-7>
- Myo EM, Liu B, Ma J, Shi L, Jiang M, Zhang K (2019) Evaluation of *Bacillus velezensis* NKG-2 for bio-control activities against fungal diseases and potential plant growth promotion. *Biological Control* 134: 23–31.
- Mirsam H, Suriani, Aqil M, Azrai M, Efendi, R, Muliadi A, Sembiring H, Azis AI e(2022) Molecular characterization of indigenous microbes and its potential as a biological control agent of *Fusarium* stem rot disease (*Fusarium verticillioides*) on maize. *Heliyon* 8: e11960. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11960>
- Oktaviani WR, Salamiah S, Fitriyanti D (2023) Pemetaan Serangan Penyebab Penyakit Busuk Batang Jagung di Kabupaten Tanah Laut, Kalimantan Selatan. *Jurnal Proteksi Tanaman Tropika* 6:654–665. <https://doi.org/10.20527/jptt.v6i2.1847>
- Omotayo OP, Babalola OO (2023) *Fusarium verticillioides* of maize plant: Potentials of propitious phytomicrobiome as biocontrol agents. *Front. Fungal Biol.* 4:1095765 <https://doi.org/10.3389/ffunb.2023.1095765>
- Pascual CB, Barcos AKS, Aiza J, dkk (2016) Fumonisin-Producing *Fusarium* Species Causing Ear Rot of Corn in the Philippines. *Philippine Journal of Crop Science* 41:12–21
- Qu L, Wang L, Ji H, dkk (2022) Toxic Mechanism and Biological Detoxification of Fumonisin. *Toxins* (Basel) 14:1–21. <https://doi.org/10.3390/toxins14030182>
- Riseh RS, Vazvani MG, Vatankhah M, Kennedy JF (2024) Chitin-induced disease resistance in plants: A review. *International Journal of Biological Macromolecules* 266 (1): 131105. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.131105>.
- Suriani., Djaenuddin N, Muis A (2018) Efikasi Formulasi *Bacillus subtilis* terhadap Pengendalian Penyakit Busuk Batang *Fusarium* pada Tanaman Jagung Efficacy of the *Bacillus subtilis* Formulation to Control *Fusarium* Stalk Rot Disease in Corn. *Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* 2:191–197
- Suriani, Djaenuddin N, Muis A (2020) Utilization of antagonistic bacteria *Bacillus subtilis* to control *Fusarium verticillioides* on corn. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci* 484. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/484/1/012100>
- Suriani, Sebayang A, Mirsam H. (2021) Control of *Fusarium verticillioides* on corn with a combination of *Bacillus subtilis* TM3 formulation and botanical pesticides. *Saudi J Biol Sci* 28:7000–7005. <https://doi.org/10.1016/J.SJBS.2021.07.083>
- Syaifudin A, Kasiamdari RS (2022) The inhibition of *Fusarium* wilt in Chili by Endophytic Fungi isolated from

- Green Betel (*Piper betle* L.) Leaf. *Journal of Natural Sciences and Mathematics Research* 8:84–93. <https://doi.org/10.21580/jnsmr.2022.8.2.13795>
- Vinale F, Sivasithamparam K, Ghisalberti EL, Marra R, Woo SL, Lorito M (2008) Trichoderma–plant–pathogen interactions. *Soil Biology and Biochemistry* 40 (1): 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.07.002>
- Wang L, Jia S, Du Y, dkk (2025a) Biocontrol Potential of *Bacillus subtilis* A3 Against Corn Stalk Rot and Its Impact on Root-Associated Microbial Communities. *Agronomy* 15:1–22. <https://doi.org/10.3390/agronomy15030706>
- Wang P, Wang L, Liu K, dkk (2025b) Application of Difenconazole and Trichoderma Broth Combination for Synergistic Control of Corn Leaf Blight and Stalk Rot in Straw-Returned Fields in Liaoning Province, China. *Applied Sciences* (Switzerland) 15:1–11. <https://doi.org/10.3390/app15147834>
- Yan, L., Zhu, J., Zhao, X., Shi, J., Jiang, C., Shao, D., 2019. Beneficial effects of endophytic fungi colonization on plants. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 103, 3327–3340. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-09713-2>
- Zhang J, Hou W, Ren T, Cong R, Zhao Z, Lu J, Li X (2021) Applying potassium fertilizer improves sheath rot disease tolerance and decreases grain yield loss in rice (*Oryza sativa* L.), *Crop Protec* 139:105392. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105392>
- Zhu L, Huang J, Lu X, Zhou C (2022) Development of plant systemic resistance by beneficial rhizobacteria: Recognition, initiation, elicitation and regulation. *Front Plant Sci* 13:952397. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.952397>

