

## Potensi *Spent Mushroom Substrate* dalam Perlindungan Tanaman: Meta Analisis Terhadap Pengaruhnya dalam Pengendalian Hama dan Penyakit

Satriyo Restu Adhi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Singaperbangsa Karawang

\*Korespondensi: [satriyo.restu@faperta.unsika.ac.id](mailto:satriyo.restu@faperta.unsika.ac.id)

### ABSTRACT

*Spent Mushroom Substrate (SMS) is a residue from the cultivation process of consumable mushrooms that is rich in nutrients, organic matter, and has the potential to be used in crop protection. Previous studies have been conducted to evaluate the effect of SMS on crop protection from pests and diseases. These studies often presented mixed and contradictory findings, which demanded a thorough analysis to identify general trends and the overall potential utilization of SMS. This study used a meta-analysis method to synthesize data from a number of relevant studies on the effects of SMS and formulate a comprehensive picture of the potential use of SMS in crop protection from pests and diseases. Research data were collected from various sources including published scientific articles or journals, and those that have been published on Scopus. Data collection was conducted systematically using certain inclusion and exclusion criteria to select studies that fit the focus of the analysis using the PRISMA method. The results of the meta-analysis showed that SMS has positive potential in pest and disease control in various types of plants. Several studies have shown that SMS applications can significantly reduce the intensity of pest or disease attacks. In addition, SMS also has the ability to trigger plant growth and microbial diversity.*

**Keywords:** *Scopus; SMS; Fungi; Bacteria; Nematode.*

### ABSTRAK

Spent Mushroom Substrate (SMS) merupakan sisa dari proses budidaya jamur konsumsi yang kaya akan nutrisi, bahan organik, dan memiliki potensi untuk digunakan dalam perlindungan tanaman. Penelitian sebelumnya telah dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh SMS terhadap perlindungan tanaman dari hama dan penyakit. Penelitian-penelitian ini sering kali menyajikan temuan yang beragam dan kontradiktif, yang menuntut analisis menyeluruh untuk mengidentifikasi tren umum dan potensi pemanfaatan SMS secara keseluruhan. Penelitian ini menggunakan metode meta analisis untuk menyintesis data dari sejumlah penelitian yang relevan mengenai efek SMS dan merumuskan gambaran menyeluruh tentang potensi penggunaan SMS dalam perlindungan tanaman dari hama dan penyakit. Data penelitian dikumpulkan dari berbagai sumber termasuk artikel ilmiah atau jurnal terpublikasi, dan yang telah diterbitkan pada Scopus. Pengumpulan data dilakukan secara sistematis dengan menggunakan kriteria inklusi dan eksklusi tertentu untuk memilih penelitian yang sesuai dengan fokus analisis menggunakan metode PRISMA. Hasil meta analisis menunjukkan bahwa SMS memiliki potensi positif dalam pengendalian hama dan penyakit pada berbagai jenis tanaman. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa aplikasi SMS dapat menekan intensitas serangan hama atau penyakit secara signifikan. Selain itu, SMS juga memiliki kemampuan dalam memicu pertumbuhan tanaman dan keanekaragaman mikroba.

**Kata Kunci:** Scopus, SMS Jamur; Nematoda; Bakteri.

## PENDAHULUAN

Pengendalian hama dan penyakit tanaman dengan menggunakan pestisida kimia sintetis mengakibatkan efek buruk terhadap lingkungan. Karena penggunaan pestisida yang kurang bijaksana akan berdampak pada kesehatan, pencemaran lingkungan dan gangguan ekologis, mengakibatkan resistensi OPT sasaran, resurgensi OPT, dan terbunuhnya musuh alami, serta meninggalkan residu pada hasil produk pertanian (Lahati & Ladjinga, 2022). Oleh karena itu, diperlukan suatu pengendalian hama dan penyakit tanaman yang bersifat efektif dan ramah lingkungan. Alternatif solusi yang dapat dipertimbangkan untuk mengatasi hama dan penyakit yaitu dengan menggunakan bahan organik alami *et al.*, 2017). Bahan organik dilaporkan mampu berperan sebagai agens biokontrol pada patogen tular tanah (*soil-borne diseases*) dan efektif dalam menekan keparahan penyakit pada daun yang disebabkan oleh fitopatogen (Yatoo *et al.*, 2021). Dalam hal ini, pengendalian hama dan penyakit dapat dilakukan secara hayati dengan memanfaatkan mikroorganisme antagonis (Agustinur *et al.*, 2020).

Penggunaan bahan organik dalam menekan hama dan penyakit tanaman karena adanya mikroba yang bersifat antagonis terhadap patogen, hama, serta menginduksi resistensi pada tanaman. Kemampuan bahan organik untuk menekan penyakit pada tanaman bisa terjadi karena adanya mekanisme yaitu bahan organik mengandung berbagai mikroba biokontrol yang mampu menekan patogen, adanya senyawa metabolit sekunder yang dihasilkan mikroba atau hasil dari dekomposisi atau karena kemampuan bahan organik untuk meningkatkan ketahanan tanaman terhadap penyakit (Bonanomi *et al.*, 2020). Aktivitas untuk meningkatkan mikroorganisme tanah yaitu dengan memberikan bahan organik sehingga aktivitas mikroorganisme antagonis tinggi di dalam tanah, semakin tinggi aktivitas mikroorganisme antagonis maka semakin tinggi juga aktivitas penghambat pertumbuhan patogen (Sopialena, 2018).

Penelitian melaporkan jika pada setiap kilogram hasil produksi dari jamur konsumsi akan menghasilkan 5-6 kg limbah sampingan (Ma *et al.*, 2014). Limbah sampingan media tanam jamur (*spent mushroom substrate* atau SMS) merupakan salah satu yang dihasilkan. Limbah tersebut menurut hasil penelitian masih mengandung kandungan bahan organik yang tinggi. Berdasarkan hasil penelitian Verma *et al.* (Verma *et al.*, 2020) kandungan bahan organik pada limbah jamur tiram mencapai 20%. Kandungan C/N rasio limbah jamur tiram  $116,29 \pm 1,42$  (Mortada *et al.*, 2020). Kandungan bahan organik yang tinggi dan C/N rasio mengindikasikan jika mikroorganisme masih dapat hidup di limbah tersebut. Diduga terdapat banyak mikroorganisme yang hidup, termasuk yang berpotensi sebagai anti patogen atau anti

penyakit tanaman, Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR), dan *Plant Growth Promoting Fungi* (PGPF) (Naziya *et al.*, 2020).

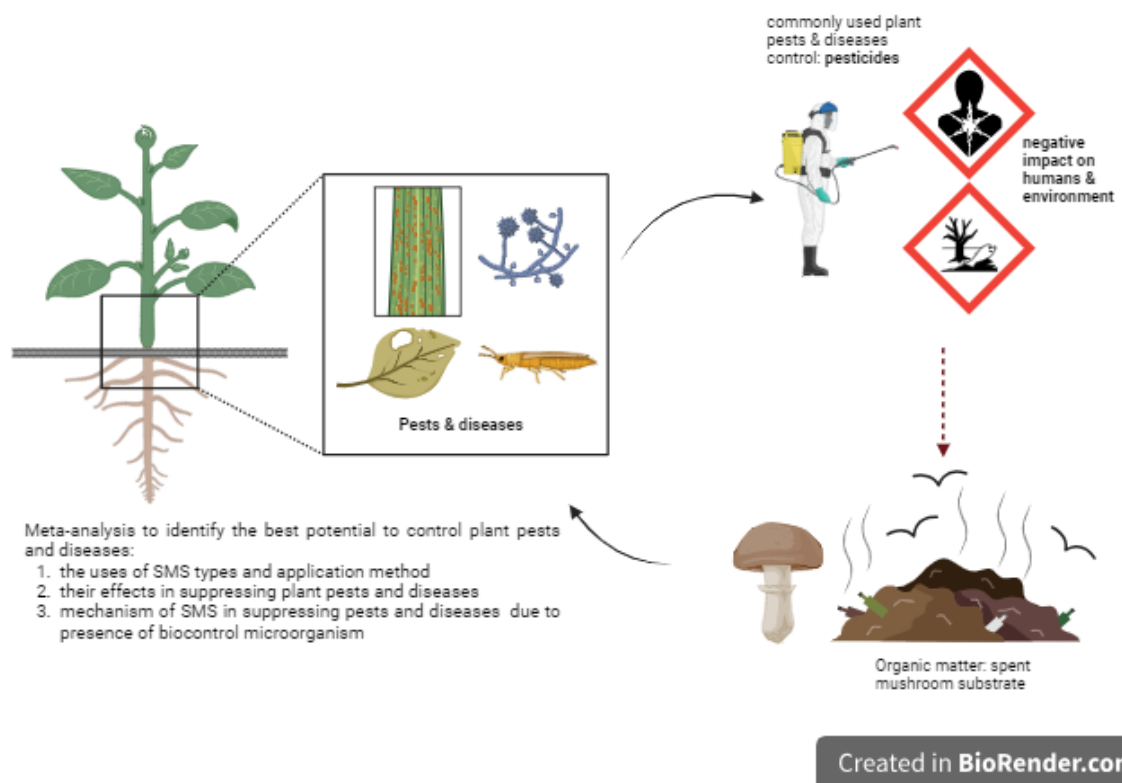
Pada penelitian ini akan dipaparkan meta analisis tentang bagaimana potensi *spent mushroom substrate* dalam mengendalikan hama dan penyakit tanaman dari beberapa artikel ilmiah yang telah terpublikasi, yang kemudian akan dilanjutkan dengan bahasan terkait (1) penggunaan jenis SMS dan metode aplikasinya, (2) pengaruhnya dalam menekan hama dan penyakit tanaman, (3) serta mekanisme SMS dalam menekan serangan hama dan penyakit akibat adanya mikroorganisme biokontrol.

## METODE

Tinjauan literatur meta analisis ini dilakukan dengan menggunakan pedoman PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*). Database yang digunakan diambil dari Scopus untuk mencari literatur yang relevan dengan menggunakan kriteria pencarian sebagai berikut: TITLE-ABS-KEY ( *spent AND mushroom AND substrate* ) AND ( *pests OR diseases OR plant AND diseases OR plant AND diseases AND control OR pests AND control* ) AND ( LIMIT-TO ( SUBJAREA , "AGRI" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , "ENVI" ) ) AND ( LIMIT-TO ( DOCTYPE , "ar" ) ). Hasil yang didapatkan kemudian dibatasi secara otomatis berdasarkan *subject area to agricultural and biological sciences and environmental science* dan tipe dokumen adalah artikel.

Kriteria pencarian tersebut menghasilkan 110 artikel ilmiah yang telah diterbitkan dari tahun 1989 hingga 2023 yang kemudian ditinjau sesuai pedoman pada dituliskan yaitu:

1. *Spent Mushroom Substrate* (SMS) merupakan media limbah hasil produksi jamur konsumsi
2. Artikel tersebut memuat data kuantitatif tentang pengaruh pemberian SMS pada hama atau penyakit, khususnya jumlah sampel, rata-rata, standar deviasi pada intensitas hama atau penyakit. Data perlu dikumpulkan untuk
3. Hanya jenis SMS yang memiliki pengaruh pada penekanan hama penyakit yang dipertimbangkan untuk dianalisis.
4. Jika terdapat beberapa spesies mikroorganisme yang ditemukan pada SMS dan memiliki pengaruh pada intensitas hama dan penyakit, informasi tersebut dikumpulkan secara terpisah sebagai data tambahan.



**Gambar 1. Grafis abstrak penelitian meta analisis**

Data yang termasuk ke dalam kriteria inklusi (Tabel 1), selanjutnya diekstrak dari setiap artikel penelitian yang telah diperoleh. Ekstraksi mengacu pada: (1) jenis *Spent Mushroom Substrate* (SMS), (2) tanaman uji, (3) metode aplikasi, (4) intensitas serangan hama atau penyakit, (5) jenis mikroorganismenya.

**Tabel 1. Variabel deskripsi yang dikumpulkan dari setiap artikel dalam meta analisis.**

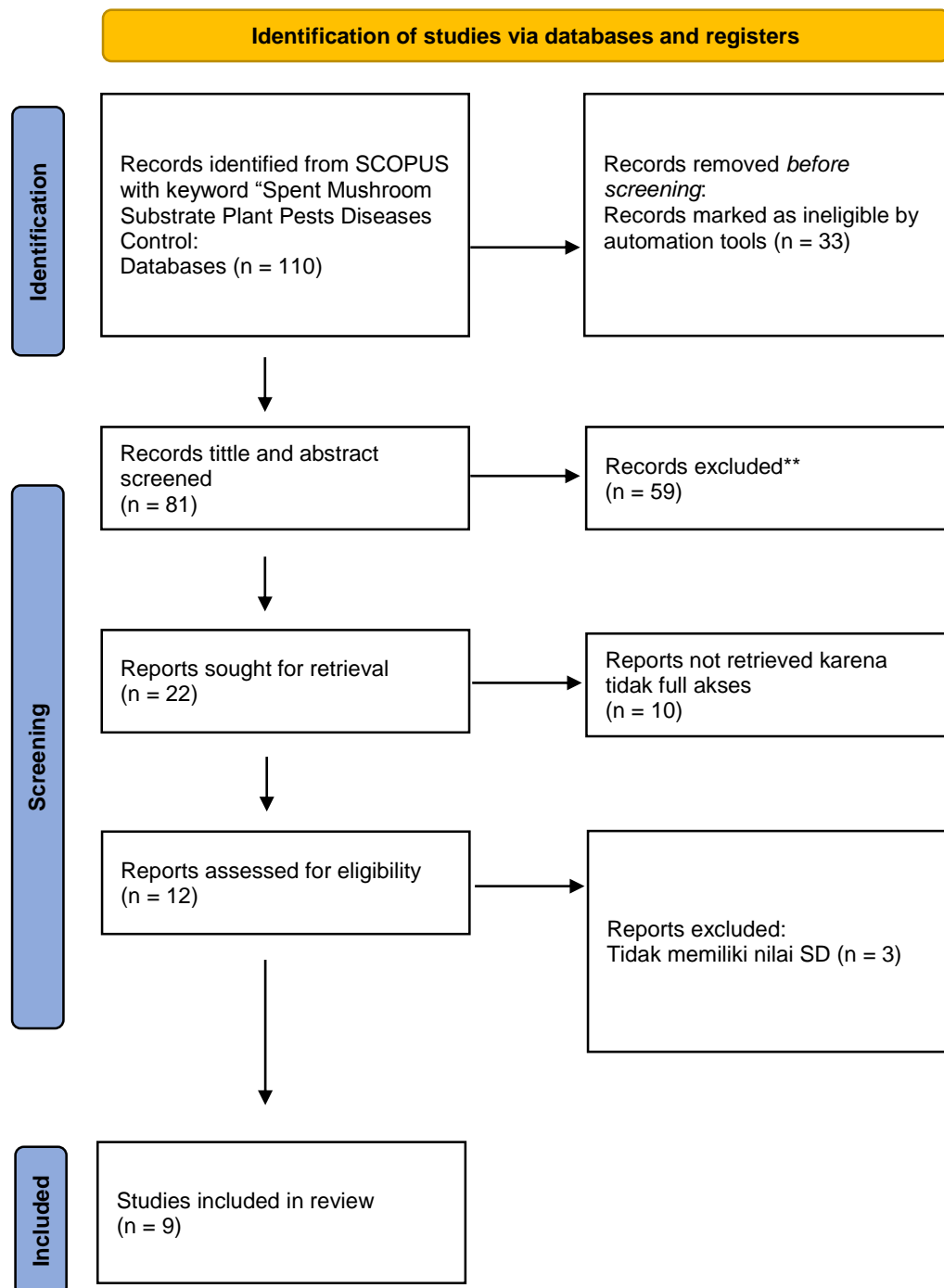
Variabel	Deskripsi	Keterangan dan Contoh
Jenis SMS	Hasil produksi spesies jenis jamur konsumsi, komposisi media	Contoh: jamur merang, jamur tiram
Tanaman uji	Tanaman yang digunakan untuk menguji pengaruh SMS	Contoh: cabai, tomat, kentang
Metode aplikasi	Metode aplikasi SMS pada tanaman uji	Contoh: penambahan pada media dengan dosis tertentu
Intensitas hama atau penyakit	Hama atau patogen target, dan pengaruh pemberian SMS pada intensitas hama atau penyakit pada tanaman uji	Persentase intensitas serangan hama atau penyakit
Jenis mikroorganisme	Taksonomi mikroorganisme yang berperan sebagai agens antagonis pada hama atau penyakit	Grup: bakteri, fungi, virus, dan lainnya, jika ada disertai nama spesiesnya.

### Lembar Data dan Analisis

Data artikel ilmiah yang telah diskriming, kemudian dibuat basis data dalam sebuah *spreadsheet* pada Microsoft Excel dengan informasi nama penulis, judul, tahun publikasi, nama jurnal, jenis SMS, tanaman uji, OPT target, metode aplikasi SMS, persentase intensitas serangan hama atau penyakit pada perlakuan dan control, dan mikroorganisme yang diduga berperan jika ada. Untuk menganalisis data digunakan Microsoft Excel dan OpenMEE.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

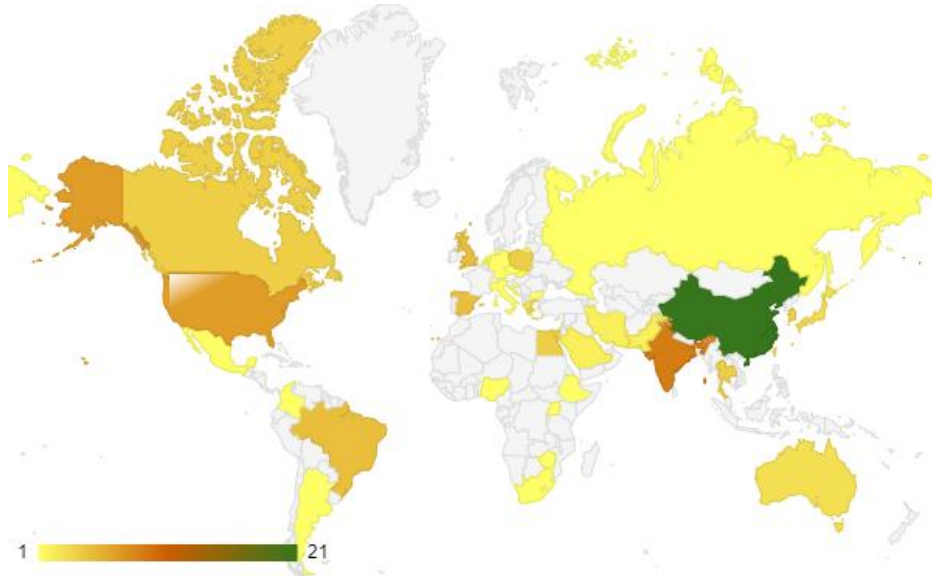
Penelitian ini mendapatkan 110 artikel ilmiah yang telah diterbitkan dari tahun 1989 hingga 2023 yang membahas mengenai penggunaan *spent mushroom substrate* di bidang pertanian kompleks dan lingkungan. Adapun negara negara yang memublikasi bahasan penelitian tersebut yaitu Cina 21 artikel; India 9 artikel; Amerika Serikat 7 artikel; Britania Raya (*United Kingdom*), Spanyol, dan Brazil 5 artikel; Thailand, Korea Selatan, Polandia, Mesir, dan Kanada 4 artikel; Taiwan, Jepang, Israel, Yunani, dan Australia 3 artikel; Arab Saudi, Pakistan, dan Iran 2 artikel; serta Uganda, Afrika Selatan, Slovakia, Rusia, Nigeria, Belanda, Meksiko, Lebanon, Italia, Jerman, Etiopia, Ceko, Kroasia, Kolombia, Bulgaria, dan Argentina 1 artikel (Gambar 1).



Gambar 1. Skema

From: Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, *et al.*  
The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic.

reviews. BMJ 2021;372:n71. doi: 10.1136/bmj.n71



**Gambar 1. Distribusi geografis penelitian yang memenuhi kriteria inklusi**

Seratus sepuluh (110) artikel yang telah diperoleh selanjutnya diseleksi berdasarkan pedoman PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) dengan menyeleksi judul, abstrak, akses penuh artikel, dan disesuaikan dengan kriteria inklusi yang telah ditetapkan pada kriteria inklusi di Tabel 1. Didapatkan 9 artikel yang memenuhi kriteria inklusi dalam penelitian ini. Pada 9 artikel tersebut variabel yang sesuai dengan variabel deskripsi di Tabel 1, variabel deskripsi tersebut terangkum dalam Tabel 2.

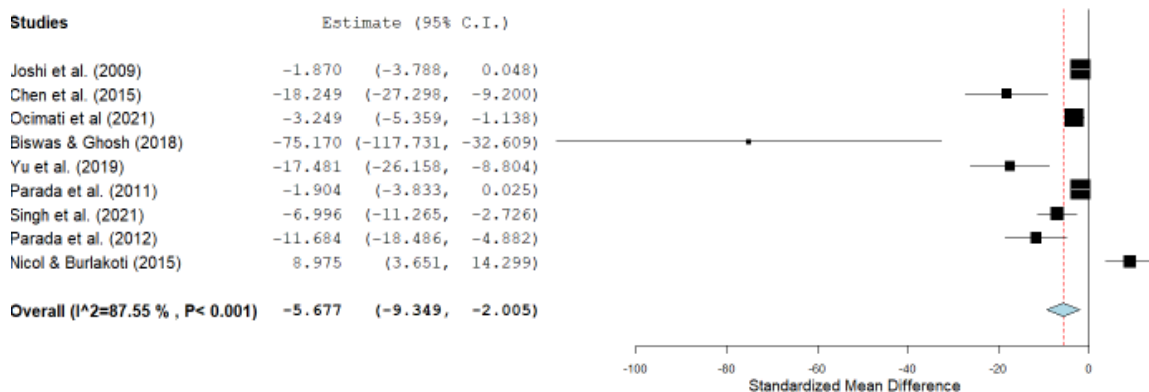
**Tabel 2. Ringkasan gambaran penggunaan SMS dan pengaruhnya pada OPT dalam studi meta analisis.**

Jenis SMS	Tanaman Uji	OPT target	Metode aplikasi	Intensitas Hama atau Penyakit	Referensi
SMS	Kacang merah ( <i>Phascolus vulgaris</i> L.)	<i>Rhizoctonia solani</i>	Ekstrak kompos dicampurkan dengan air dengan perbandingan 1:5 (v/v), kemudian difermentasi 10 hari pada suhu ruang, dan disemprotkan pada tanaman	Intensitas penyakit perlakuan 42,7% dibandingkan kontrol 52,5%	Joshi <i>et al.</i> , 2009
<i>Spent blewiteat mushroom compost</i> (SBPC)	Mentimun	<i>Phytophthora aphanidermatum</i>	SBPC PH 8.0 dicampur dengan media peat moss BVB 1:1 (v/v) sebagai media perkecambahannya	Intensitas penyakit perlakuan 57% dibandingkan kontrol 97%	Chen <i>et al.</i> , 2015
<i>Spent Pleurotus osteratus Substrate</i> (SPoS)	Pisang	<i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>cubense</i>	SPoS 80 g dicampur dengan tanah (80%) dari volume pot 2,5 L volume atau 2,3 kg)	Intensitas penyakit perlakuan 0,88% dibandingkan kontrol 2,75%	Ocimati <i>et al.</i> , 2021
SMS of <i>Pleurotus djamar</i> (SPdM)	Selada	<i>Meloidogyne javanica</i>	SPdM 15% dicampurkan dengan media Bioplant	Intensitas penyakit perlakuan 0,25%	Lopes <i>et al.</i> , 2023



Jenis SMS	Tanaman Uji	OPT target	Metode aplikasi	Intensitas Hama atau Penyakit	Referensi
				dibanding kontrol 100%	
SMS	Tomat	<i>Meloidogyne incognita</i>	SMS dikomposkan dan ditambahkan pada tanah (10, 25, 50 g/kg tanah)	Intensitas penyakit perlakuan 1,98% dibanding kontrol 8,25%	D'Addabbo <i>et al.</i> , 2011
SMS	Terung	<i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>melongenae</i> dan <i>Ralstonia solanacearum</i>	SMS dicampur dengan <i>farmyard manure</i> (FYM) dan kompos cacing (1:1:1)	Intensitas penyakit perlakuan 4,53% dibanding kontrol 35,62%	Biswas & Ghosh, 2018
SMS	Rumput pakan perennial ryegrass & rumput golf ( <i>Lolium perenne</i> )	<i>Pyricularia grisea</i>	Bakteri yang diisolasi dari SMS digunakan untuk in vitro dan in vivo test	Perlakuan 27,10% dibanding kontrol 72%	Viji <i>et al.</i> , 2003
SSV ( <i>Volvariella volcaceae</i> )	Paprika	Ralstonia wilt, phythophthora blight, root knot nematodes	50 kg SSV dicampur dengan biofertilizer 200 ml 10 <sup>9</sup>	Perlakuan 2,15% dibanding kontrol 10,70%	Yu <i>et al.</i> , 2019
Spent hatakeshim eji	Mentimun	<i>Colletotrichum orbiculare</i>	Air ekstrak dari SMS 200 g dihomogenkan	Perlakuan 2,15% dibanding	Parada <i>et al.</i> , 2011

Jenis SMS	Tanaman Uji	OPT target	Metode aplikasi	Intensitas Hama atau Penyakit	Referensi
( <i>Lyophyllum decastes</i> ) mushroom substrate			(1500 rpm) dengan 500 ml air selama 2 menit disaring dan digunakan untuk disemprot pada daun (autoclaved dan segar)	g kontrol 76,60%	
<i>Spent Pleurotus osteratus</i> Substrate (SPoS)	Tomat	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>	SMS jerami padi ditambahkan Soybean Cake 5% dan ditambah talcum powder dan Press Mud	Perlakuan 20% dibanding kontrol 82%	Singh et al., 2021
<i>Spent hatakeshim eji</i> ( <i>Lyophyllum decastes</i> ) mushroom	Mentimun	<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>Lachrymans</i>	SMS diautoklaf ditambahkan dengan tanah	Perlakuan 1,30% dibanding kontrol 100%	Parada et al., 2012



**Gambar 2. Forest plot pengaruh spent mushroom substrate dalam menekan intensitas serangan hama atau penyakit tanaman.**

Berdasarkan Gambar 2, hasil meta analisis data menggunakan OpenMEE didapatkan jika nilai keseluruhan (*overall effect*) pada *Confidence Interfal* (C.I) 95%, nilai  $I^2$  menunjukkan nilai 82,55% yang menandakan jika data yang digunakan *heterogeneity* atau heterogenitas yang signifikan, sehingga digunakan metode *random model effect*. Kemudian, nilai P value yang menunjukkan nilai  $<0,05$  yaitu 0,01 yang artinya rata-rata intensitas serangan hama atau penyakit pada tanaman yang diberikan perlakuan *Spent Mushroom Substrate* jika dibandingkan dengan perlakuan kontrol memiliki makna yang berbeda nyata, dengan nilai -5,677 secara bermakna. Setiap data yang diekstraksi jika nilai *mean difference* dan intervalnya mendekati angka 0 (nol), maka penelitian tersebut tidak memiliki signifikansi atau tidak memiliki makna.

Persentase produksi jamur konsumsi yang diproduksi di dunia secara global terdiri dari *Agaricus bisporus* dan *A. subrufescens* (30%), *Pleurotus sp.* (27%), *Lentinula edodes* (17%), *Auricularia sp.* (6%), dan *Flammulina* (5%), dan sisanya adalah yang lain (Royse, 2014). Pada setiap kilogram hasil produksi dari jamur konsumsi akan menghasilkan 5-6 kg limbah sampingan (Ma *et al.*, 2014). Salah satu hasil sampingan produksi adalah media tanam jamur (*spent mushroom substrate* atau SMS) atau ada yang menyebutnya *spent mushroom compost*. Limbah tersebut menurut hasil penelitian masih mengandung kandungan bahan organik yang tinggi. Berdasarkan hasil penelitian Verma *et al.* (2020) kandungan bahan organik salah satunya pada pada limbah jamur tiram mencapai 20%. Penambahan SMS yang belum dikomposkan, dikomposkan, dijadikan pupuk, dan ekstrak kompos berpotensi sebagai alternatif pengendalian non-kimiawi terhadap hama dan penyakit di produksi pertanian (Rinker, 2017).

Pada hasil penelitian ini, jenis SMS yang digunakan banyak berasal dari limbah produksi jamur blewit (corong awan), jamur tiram (*Pleurotus osteratus*), jamur tiram merah jambu (*Pleurotus djamor*), jamur hatakeshimeji (*Lyophyllum decastes*), jamur merang (*Volvariella volcaceae*), dan jamur yang lain. Adapun metode aplikasi pada tanaman dengan tujuan untuk mengendalikan hama atau penyakit tanaman adalah dengan mencampurkannya pada media tanam baik yang sudah dikomposkan maupun tidak dikomposkan, diekstraksi dalam bentuk cairan dan kemudian disemprotkan pada tanaman, hingga ada yang menginokulasi mikroorganisme yang hidup pada SMS lalu kemudian diuji secara *in vitro* dan *in vivo* pada hama atau penyakit tanaman.

Pengaruh pemberian SMS dalam mengendalikan hama atau penyakit pada studi ini juga menunjukkan nilai yang signifikan (Tabel 2 dan Gambar 2). SMS mampu mengendalikan penyakit yang disebabkan oleh jamur, oomycete, bakteri, dan

nematoda. Selain itu, diketahui jika di dalam SMS terdapat keanekaragaman mikroorganismen yang juga memiliki peranan lain dalam agroekosistem. Beberapa genus yang ditemukan dalam SMS adalah *Trichoderma viridae*, *Penicillium oxalicum*, *Penicillium chrysogenum*, *Aspergillus terreus*, dan *Bacillus licheniformis* (Adedji & Modupe, 2016).

## KESIMPULAN

Penggunaan *spent mushroom substrate* (SMS) mampu mengendalikan OPT tanaman secara signifikan berdasarkan hasil meta analisis karena menghasilkan nilai  $P < 0,001$ . SMS mampu mengendalikan OPT yang disebabkan oleh jamur, oomycete, bakteri, dan nematoda.

## SARAN

Penelitian mengenai meta analisis dengan topik pemanfaatan SMS dalam bidang perlindungan tanaman perlu dikaji secara mendalam dengan menggunakan sumber pustaka yang lebih komprehensif berasal dari berbagai macam *database* yang tersedia.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adedji, & Modupe, A. (2016). In Vitro Evaluation of Spent Mushroom Compost on Growth of *Fusarium Oxysporium* F. Sp *Lycopersici*. *Advances in Plants & Agriculture Research*, 4(4), 332–339. <https://doi.org/10.15406/apar.2016.04.00147>
- Afifi MMI, Ismail AM, Kamel SM, E. T. (2017). Humic Substances: a powerful tool for controlling fusarium wilt disease and improving the growth of cucumber plants. *J Plant Pathol*, 99, 61–67.
- Agustinur, A., Chairudin, C., & Mustawa, K. (2020). PENGARUH ANTAGONIS PEMBERIAN KULTUR CAIR *Pseudomonas* sp. SPESIFIK LOKASI MEUREBO DALAM MENEKAN *Fusarium oxysporum* PADA TANAMAN CABAI MERAH (*Capsicum annum* L.). *Jurnal Agrotek Lestari*, 6(1), 91–99. <https://doi.org/10.35308/jal.v6i1.2372>
- Biswas, M. K., & Ghosh, T. (2018). Screening of brinjal genotypes for their resistance against fungal and bacterial wilt and integrated management of the disease. *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*, 19(1–2), 61–71.
- Bononomi, G., Alioto, D., Minutolo, M., Marra, R., Cesarano, G., & Vinale, F. (2020). Organic amendments modulate soil microbiota and reduce virus disease incidence in the tomato pathosystem. *Pathogens*, 9(5). <https://doi.org/10.3390/pathogens9050379>
- Chen, J. T., Lin, M. J., & Huang, J. W. (2015). Efficacy of spent blewit mushroom compost and *Bacillus aryabhattai* combination on control of *Pythium damping-off* in



- cucumber. *Journal of Agricultural Science*, 153(7), 1257–1266. <https://doi.org/10.1017/S0021859614000987>
- D'Addabbo, T., Papajová, I., Sasanelli, N., Radicci, V., & Renčo, M. (2011). Suppression of root-knot nematodes in potting mixes amended with different composted biowastes. *Helminthologia*, 48(4), 278–287. <https://doi.org/10.2478/s11687-011-0039-x>
- Joshi, D., Hooda, K. S., Bhatt, J. C., Mina, B. L., & Gupta, H. S. (2009). Suppressive effects of composts on soil-borne and foliar diseases of French bean in the field in the western Indian Himalayas. *Crop Protection*, 28(7), 608–615. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2009.03.009>
- Lahati, B. K., & Ladjinga, E. (2022). Efektivitas Trichoderma sp. dalam mengendalikan penyakit layu fusarium di lahan pertanaman tomat. *Jurnal Inovasi Penelitian*, 3(7), 7277–7234.
- Lopes, A. D., de Melo Santana Gomes, S., Schwengber, R. P., Carpi, M. C. G., & Dias-Arieira, C. R. (2023). Control of Meloidogyne javanica with Pleurotus djamor spent mushroom substrate. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 10(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s40538-023-00380-0>
- Ma, Y., Wang, Q., Sun, X., Wang, X., Su, W., & Song, N. (2014). A Study on recycling of spent mushroom substrate to prepare chars and activated carbon. *BioResources*, 9(3), 3939–3954. <https://doi.org/10.15376/biores.9.3.3939-3954>
- Mortada, A. N., Bolhassan, M. H., & Wahi, R. (2020). Physicochemical composition of spent oyster mushroom substrate. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 24(6), 848–854.
- Naziya, B., Murali, M., & Amruthesh, K. N. (2020). 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), 4–6. <https://doi.org/10.3390/biom10010041>
- Ocimati, W., Were, E., Tazuba, A. F., Dita, M., Zheng, S. J., & Blomme, G. (2021). Spent substrate of pleurotus ostreatus has potential for managing fusarium wilt of banana. *Journal of Fungi*, 7(11). <https://doi.org/10.3390/jof7110946>
- Parada, R. Y., Murakami, S., Shimomura, N., Egusa, M., & Otani, H. (2011). Autoclaved spent substrate of hatakeshimeji mushroom (Lyophyllum decastes Sing.) and its water extract protect cucumber from anthracnose. *Crop Protection*, 30(4), 443–450. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.11.021>
- Parada, Roxana Yanira, Murakami, S., Shimomura, N., & Otani, H. (2012). Suppression of fungal and bacterial diseases of cucumber plants by using the spent mushroom substrate of lyophyllum decastes and pleurotus eryngii. *Journal of*



- Phytopathology*, 160(7–8), 390–396. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.2012.01916.x>
- Rinker, D. L. (2017). Spent mushroom substrate uses. *Edible and Medicinal Mushrooms: Technology and Applications*, October, 427–454. <https://doi.org/10.1002/9781119149446.ch20>
- Royse, D. (2014). A global perspective on the high five: Agaricus, Pleurotus, Lentinula, Auricularia & Flammulina. pp. 1–6. *Proceedings of the 8th International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products (ICMBMP8) 2014*, 1–4.
- Singh, G., Tiwari, A., Gupta, A., Kumar, A., Hariprasad, P., & Sharma, S. (2021). Bioformulation development via valorizing silica-rich spent mushroom substrate with *Trichoderma asperellum* for plant nutrient and disease management. *Journal of Environmental Management*, 297(July), 113278. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113278>
- Sopialena. (2018). *Pengendalian hayati dengan Memberdayakan Potensi Mikroba*. Mulawarman University Press.
- Verma, D., Didwana, V., & Maurya, B. (2020). Spent mushroom substrate: a potential sustainable substrate for agriculture. *International Journal of Grid and Distributed Computing*, 13(2), 104–109. <https://www.researchgate.net/publication/347489805>
- Viji, G., Uddin, W., & Romaine, C. P. (2003). Suppression of gray leaf spot (blast) of perennial ryegrass turf by *Pseudomonas aeruginosa* from spent mushroom substrate. *Biological Control*, 26(3), 233–243. [https://doi.org/10.1016/S1049-9644\(02\)00170-6](https://doi.org/10.1016/S1049-9644(02)00170-6)
- Yatoo AM, Ali MN, B. Z. (2021). Sustainable management of diseases and pests in crops by vermicompost and vermicompost tea. *A Rev Agron Sustain Dev.*, 41–47.
- Yu, Y. Y., Li, S. M., Qiu, J. P., Li, J. G., Luo, Y. M., & Guo, J. H. (2019). Combination of agricultural waste compost and biofertilizer improves yield and enhances the sustainability of a pepper field. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 182(4), 560–569. <https://doi.org/10.1002/jpln.201800223>