

## Peran Solarisasi Tanah terhadap Pertumbuhan Patogen Tular Tanah dan Populasi Mikroba Tanah

### *Role of Soil Solarization on the Growth of Soil-Borne Pathogens and Soil Microbial Populations*

Evan Purnama Ramdan<sup>1\*</sup>, Astri Afrian<sup>2</sup>, Andini Hanif<sup>3</sup>, Cheppy Wati<sup>4</sup>, Nurholis Nurholis<sup>5</sup>, Dwi Astuti<sup>6</sup>, Widodo Widodo<sup>7</sup>

<sup>1</sup>Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Universitas Gunadarma, Depok, West Java 16424, Indonesia

<sup>2</sup>Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Universitas Samudra, Langsa City, Aceh 24416, Indonesia

<sup>3</sup>Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, North Sumatera, Medan 20238, Indonesia

<sup>4</sup>Politeknik Pembangunan Pertanian Bogor, Bogor, West Java 16119, Indonesia

<sup>5</sup>Badan Uji Terap dan Metode Karantina Pertanian, Bekasi, West Java 17320, Indonesia

<sup>6</sup>Indonesian Institute of Sciences (LIPI), Jakarta 12710, Indonesia

<sup>7</sup>Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Institut Pertanian Bogor, Bogor, West Java 16680, Indonesia

Received 25 October 2021; Accepted 04 June 2022; Published 30 June 2022

#### ABSTRACT

Soil-borne soil pathogens are pathogens that inhabit the soil and can survive for years in the soil, making them very difficult to control. Control with pesticides and fungicides harms the ecosystem, so other controls are needed such as soil solarization. This study aims to determine the growth response of soil-borne pathogens and soil microbial populations to soil solarization treatment. The study used a completely randomized design with 4 treatments consisting of solarization on soil media, solarization on soil and compost media, without solarization on soil media, and without solarization on soil media and compost on plastic trays. Each treatment was repeated 4 times. The soil-borne pathogens used were *Sclerotium rolfisii* and *Rigidoporus lignosus*. Each pathogen was planted in each planting medium with a depth of 5 and 10 cm. Then each tray is covered with 0.1 mm thick transparent plastic. Then given solarization treatment for four weeks. At the end of the observation, sclerotia and *R. lignosus* were grown on PDA media to be tested for pathogen survival and the solarization efficacy against pathogen growth was calculated. Soil samples from each treatment were also taken to calculate the soil microbial population. The results showed that soil solarization was able to suppress the growth of *R. lignosus* by 80-100% and *S. rolfisii* by 100%. Meanwhile, the microbes found in the soil solarization treatment consisted of groups of bacteria and fungi, respectively  $7.67 \times 10^4$ – $1.90 \times 10^7$  CFU.mL<sup>-1</sup> and  $1.00 \times 10^4$ – $5.82 \times 10^5$  CFU.mL<sup>-1</sup>.

**Keywords:** Antagonism agents; White roots fungus; *Rigidoporus lignosus*; *Sclerotium rolfisii*

**Cite this as (CSE Style):** Ramdan EP, Afriani A, Hanif A, Wati C, Nurholis N, Astuti D, Widodo W. 2022. Peran solarisasi tanah terhadap pertumbuhan patogen tular tanah dan populasi mikroba tanah. Agrotechnology Res J. 6(1):27–31. <https://dx.doi.org/10.20961/agrotechresj.v6i1.55979>.

#### PENDAHULUAN

Penyakit akibat patogen tular tanah menjadi kendala utama dalam produksi tanaman dengan kehilangan hasil mencapai 50-75% (Mihajlovic et al. 2017). Patogen ini dapat menyelesaikan sebagian besar siklus hidup, pemencaran, dan bertahan di dalam tanah dalam bentuk mikrosklerotia, sklerotia, klamodispora, maupun oospora (Panth et al. 2020). Kelompok patogen tular tanah dari

golongan cendawan diantaranya *Rigidoporus lignosus* dan *Sclerotium rolfisii*.

*R. lignosus* merupakan penyebab penyakit jamur akar putih (JAP) pada tanaman karet. Infeksi JAP pada akar karet dapat mengakibatkan penurunan produksi karet. Kehilangan hasil karet yang ditimbulkan mencapai 8.53% dengan kerugian Rp 1 miliar lebih per tahun (Rahayu et al. 2017). Sementara itu, *S. rolfisii* merupakan patogen penting pada beberapa tanaman dengan gejala berupa bercak coklat. Gejala yang ditimbulkan oleh *S. rolfisii* antara lain bercak kecoklatan di sekitar pangkal batang, daun menguning, layu pada cabang dan akhirnya mati. Selanjutnya patogen menyebar ke seluruh bagian tanaman dan menyebabkan busuk pada tanaman (Gusnawaty et al. 2020a; Gusnawaty et al.

\*Corresponding Author:

E-mail: [evan\\_ramdan@staff.gunadarma.ac.id](mailto:evan_ramdan@staff.gunadarma.ac.id)

2020b). Laju infeksi dari patogen ini dapat mencapai 85,56% (Dania dan Henry 2022), sehingga kehilangan polong lebih dari 80% dengan kerugian mencapai 58,3% (Sumartini 2012)

Patogen tular tanah masih sulit dikendalikan karena berada di dalam tanah. Pestisida dan fumigasi merupakan teknik pengendalian yang telah umum digunakan, tetapi dampak negatif berupa gangguan ekologi, bahaya kesehatan manusia dan ternak, kerusakan ekosistem perairan, mematikan organisme bukan target, dan merusak lapisan ozon (Keinath dan Batson 2000; Gerik dan Hanson 2011). Salah satu teknik pengendalian untuk mengatasi patogen tular tanah yaitu dengan solarisasi tanah. Solarisasi tanah merupakan pemanasan langsung tanah melalui bantuan cahaya matahari yang terperangkap oleh mulsa plastik transparan. Energi matahari yang masuk ke dalam mulsa akan terperangkap dan diserap oleh tanah sehingga suhu dalam tanah akan meningkat. Peningkatan suhu tanah akan menciptakan iklim mikro yang tidak sesuai untuk patogen tular tanah dan meningkatkan aktivitas mikroba bermanfaat di dalam tanah (Al-Shammary et al. 2020; Hamdani dan Susanto 2020; Rodliyaton et al. 2019). Selain itu, solarisasi tanah juga telah dilaporkan dapat mengurangi residu pestisida di dalam tanah (Diaz-Lopez et al. 2019; Martinez-Escudero et al. 2022)

Solarisasi tanah yang diaplikasikan pada skala *in planta* telah berhasil menekan insidensi dan keparahan penyakit busuk akar pada kacang tanah yang disebabkan oleh *Sclerotium rolfsii* (Tomazeli et al. 2019). Sementara peran solarisasi tanah terhadap perkecambahan sklerotia dari *S. rolfsii* telah dijelaskan dengan baik oleh Charirak et al. (2019) dimana sklerotia yang ditanam di kedalaman 5 cm dan 10 cm pada pot tanah liat dan petak percobaan menunjukkan adanya penekanan perkecambahan sklerotia. Solarisasi tanah juga telah mampu menghambat pertumbuhan *R. lignosus* yang ditanam pada kedalaman 5 dan 15 cm dari permukaan tanah (Fitriani 2019).

Meskipun demikian, peran solarisasi tanah terhadap penekanan *S. rolfsii* dan *R. lignosus* masih dapat dikaji. Pada penelitian Charirak et al. (2019) sklerotia yang diuji dimasukkan terlebih dahulu pada tabung mikro dan *R. lignosus* dibungkus kain (Fitriani 2019) sebelum di tanam. Sementara di alam, inokulum patogen bebas dan bersinggungan langsung dengan tanah, sehingga pada penelitian ini sklerotia akan dibungkus oleh kain kasa sedangkan inokulum *R. lignosus* ditanam langsung di tanah. Begitu pula dengan tingkat kedalaman inokulum yang dapat dicapai oleh suhu tanah akibat solarisasi dapat menjadi salah satu kajian. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui respon pertumbuhan *S. rolfsii* dan *R. lignosus* serta populasi mikroba terhadap perlakuan solarisasi tanah.

**BAHAN DAN METODE**

**Waktu dan tempat pelaksanaan**

Kegiatan penelitian dilaksanakan pada bulan September sampai November 2019 di Klinik Tanaman dan Kebun Percobaan Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Kampus IPB Dramaga.

**Rancangan penelitian**

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 4 jenis perlakuan (Tabel 1). Kemudian setiap perlakuan diulang sebanyak 3 kali.

**Tabel 1.** Perlakuan solarisasi tanah

Kode	Keterangan
Kontrol	Tanpa perlakuan solarisasi pada media tanah
Kompos (T)	Tanpa perlakuan solarisasi pada media tanah + kompos
Solarisasi (P)	Perlakuan solarisasi pada media tanah
P dan T	Perlakuan solarisasi pada media tanah + kompos

**Penyiapan isolat patogen tular tanah**

Patogen tular tanah yang digunakan terdiri dari *R. lignosus* koleksi dari Klinik Tanaman IPB dan *S. rolfsii* diisolasi dari batang kacang tanah yang diperoleh dari lahan pertanian kacang tanah di Kelurahan Situ Gede, Bogor. Isolat *R. lignosus* untuk pengujian ditumbuhkan pada media agar yang berisi 10 ranting tanaman karet sebagai inokulum untuk pengujian solarisasi tanah. Sementara itu inokulum *S. rolfsii* berasal dari sklerotia yang dipanen dari media *Potato Dextrose Agar* (PDA).

**Penyiapan media tanam**

Media tanam terdiri dari tanah yang dicampur kompos dengan perbandingan 1:1 dan tanah tanpa dicampur kompos, Tanah yang digunakan berasal dari lahan palawija di Kebun Cikabayan, Kampus IPB Dramaga, Bogor, sedangkan kompos berasal dari kompos komersil yang diperoleh dari toko pertanian.

**Pelaksanaan penelitian**

Sklerotia yang dipanen diambil 10 butir dan dibungkus kain kasa. Sementara *R. lignosus* yang telah tumbuh memenuhi ranting karet disiapkan sebagai inokulum. Solarisasi dilakukan pada baki plastik yang mempunyai kedalaman 15 cm. Satu kantong sklerotia dan lima potong ranting karet yang ditumbuhi *R. lignosus* diletakan pada media tanah pada kedalaman 5 cm dan 10 cm sesuai penelitian Charirak et al. (2019).

Masing-masing baki kemudian ditutup rapat menggunakan plastik bening dengan ketebalan 0.1 mm hingga menempel dengan tanah. Baki kemudian disimpan di ruang terbuka supaya terkena sinar matahari langsung selama empat minggu. Sebagai kontrol, baki yang telah ditanam sklerotia dan *R. lignosus* dibiarkan tanpa perlakuan solarisasi selama empat minggu. Masing-masing perlakuan diulang sebanyak 3 kali.

**Variabel pengamatan**

**Sintasan Sklerotia dan *R. Lignosus*.** Sklerotia dan ranting karet *R. lignosus* dari hasil pengujian solarisasi ditumbuhkan pada medium PDA kemudian dan diamati berapa banyak yang berhasil tumbuh. Kemudian persentase pertumbuhan dihitung dengan rumus:

$$\%Pertumbuhan = \frac{n}{N} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

dengan *n* merupakan jumlah inokulum yang tumbuh, dan *N* adalah jumlah inokulum yang diamati.

**Efikasi solarisasi tanah.** Efikasi perlakuan solarisasi terhadap pertumbuhan *S. rolfssii* dan *R. lignosus* dihitung berdasarkan data sintasan patogen. Kemudian dihitung menggunakan rumus:

$$Efikasi\ Solarisasi = \frac{PI_{-s} - PI_{+s}}{PI_{-s}} \dots \dots \dots (2)$$

yang mana  $PP_{-s}$  merupakan pertumbuhan inokulasi pada control, dan  $PP_{+s}$  adalah pertumbuhan inokulasi pada perlakuan.

**Populasi mikroba tanah.** Sebanyak 1 g sampel tanah dari masing-masing perlakuan dilarutkan pada 10 mL akuades steril dan diencerkan secara berseri. Pada seri pengenceran  $10^{-3}$  dan  $10^{-4}$  masing-masing suspensi diambil 0.1 ML untuk di-*plating* dengan teknik sebar pada cawan Petri. Media yang digunakan terdiri dari PDA, TSA, dan Martin Agar.

Mikroba yang tumbuh dihitung pada setiap cawan dengan metode *total plate count*, kemudian dihitung populasinya dengan rumus dari Ramdan et al. (2020):

$$N = \frac{\sum c}{[(1 \times n1) + (0.1 \times n2)] \times (d)} \dots \dots \dots (3)$$

dengan N merupakan jumlah koloni (CFU  $mL^{-1}$ ),  $\sum c$  adalah jumlah koloni pada semua cawan yang dihitung,  $n1$  merepresentasikan jumlah cawan pada pengenceran pertama,  $n2$  merupakan jumlah cawan pada pengenceran kedua, dan  $d$  adalah pengenceran pertama.

**Analisis Data.** Data yang diperoleh diolah menggunakan program SAS versi 9.1. Pada perlakuan yang menunjukkan adanya perbedaan nyata, analisis dilanjutkan dengan uji Duncan pada taraf 5%.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Uji pertumbuhan sklerotia dan *R. lignosus***

Hasil pengujian menunjukkan bahwa perlakuan solarisasi tanah dengan penutup plastik berpengaruh nyata dalam menekan pertumbuhan *R. lignosus* dan *S. rolfssii* (Tabel 2). Hal ini ditunjukkan dengan efikasi solarisasi tanah terhadap penekanan *R. lignosus* sebesar 80–100%, dan penekanan *S. rolfssii* sebesar 100%. Penekanan pertumbuhan kedua patogen dibuktikan dengan tidak tumbuhnya miselium *R. lignosus* dan tidak berkecambahnya *S. rolfssii* pada uji sintasan di medium PDA (Gambar 1).

Hasil tersebut karena solarisasi tanah telah memacu peningkatan suhu tanah selama proses inkubasi. Meskipun pada penelitian ini tidak dilakukan pengukuran suhu tanah, tetapi Sabatino et al. (2019) melaporkan bahwa terjadi peningkatan suhu setiap jam selama periode solarisasi tanah dengan kisaran suhu 40 – 50°C. Faktor suhu yang meningkat pada solarisasi tanah berperan langsung dalam menekan pertumbuhan patogen (Morra et al. 2018). Suhu tanah dengan kisaran 40 - 42°C telah dilaporkan dapat menekan patogen tular tanah, nematoda, dan gulma (Aryantha et al. 2000; Litterick et al. 2004; Wang et al. 2006).

**Tabel 2.** Pertumbuhan *R. lignosus* dan *S. rolfssii* pada solarisasi tanah media tanam berbeda

Perlakuan Tanah	<i>R. lignosus</i>		<i>S. rolfssii</i>	
	Pertumbuhan (%)	Efikasi (%)	Pertumbuhan (%)	Efikasi (%)
Kontrol	100±0.00a	0	100±0.00a	0
Kompos (T)	90±5.77a	10	90±5.77a	0
Solarisasi (P)	0±0.00c	100	0±0.00b	100
P dan T	20±5.77b	80	0±0.00b	100
Sig.(p)	<0.0001		<0.0001	

Mekanisme penekanan ini dapat terjadi melalui dengan mekanisme 1) terganggunya fluiditas membran sel, 2) rusaknya proses enzimatik akibat proses metabolisme patogen dipercepat, 3) rusaknya struktur istirahat (struktur tahan), dan 4) meningkatnya aktivitas mikroba bermanfaat (Cicu 2005; Paiman 2016; Hamdani dan Susanto 2020). Sesuai dengan hasil penumbuhan inokulum *R. lignosus* dan sklerotia yang menunjukkan bahwa pada inokulum yang diberi perlakuan solarisasi tanah menunjukkan bahwa masing-masing inokulum tidak dapat tumbuh dan dikoloni oleh bakteri (Gambar 1).

Kolonisasi oleh bakteri tersebut disebabkan oleh bakteri tahan panas yang dapat hidup dalam kondisi suhu tinggi saat solarisasi tanah berlangsung. Beberapa spesies bakteri yang dapat tahan panas yaitu bakteri dari genus *Bacillus* (Zalma dan El-Sharoud 2021). Selain bakteri, golongan cendawan yang ditemukan mampu mengkoloni sklerotia saat ditumbuhkan di media PDA yaitu *Aspergillus* sp., *Trichoderma* sp., dan aktinomisetes (Kartini dan Widodo 2000).

**Populasi mikroba tanah**

Hasil eksplorasi mikroba tanah ditemukan bakteri dan cendawan pada tiap perlakuan kecuali perlakuan solarisasi dan kombinasi solarisasi dan kompos pada pengujian *S. rolfssii* tidak ditemukan cendawan yang tumbuh. Secara umum, populasi mikroba yang berhasil ditemukan baik pada perlakuan solarisasi maupun tanpa solarisasi menunjukkan bahwa populasinya lebih tinggi pada media dengan tambahan kompos dibandingkan dengan media tanpa tambahan kompos (Tabel 3). Hal ini sesuai dengan laporan Hernandez-Lara et al. (2022) bahwa kombinasi solarisasi dengan penambahan kompos menunjukkan adanya komunitas mikroba yang melimpah dan ketersediaan nutrisi yang lebih lengkap bagi tanaman.

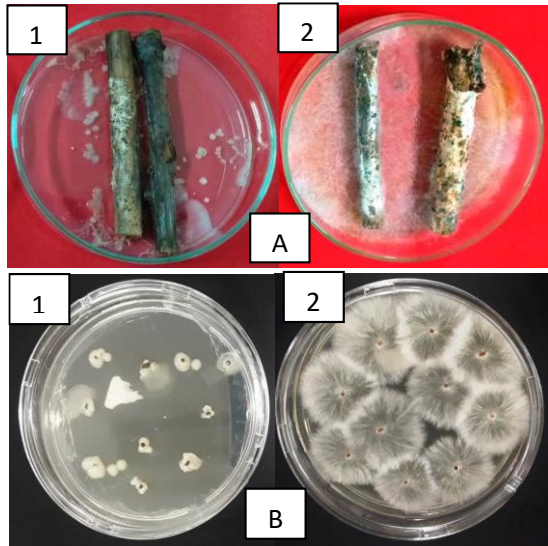
Populasi bakteri setiap perlakuan pada media tanam untuk *R. lignosus* dan *S. rolfssii* memiliki trend yang berbeda. Pada perlakuan di *R. lignosus* populasi bakteri lebih banyak ditemukan pada perlakuan tanpa solarisasi, sedangkan di *S. rolfssii* populasi bakteri banyak ditemukan pada perlakuan dengan solarisasi. Sementara itu pada populasi cendawan cenderung lebih tinggi pada perlakuan solarisasi dengan tambahan kompos dibandingkan dengan perlakuan tanpa solarisasi dengan tambah kompos.



**Tabel 3.** Populasi mikroba tanah pada perlakuan kompos dan solarisasi tanah terhadap *R. lignosus* dan *S. rolfsii*

Perlakuan Tanah	<i>R. lignosus</i>		<i>S. rolfsii</i>	
	Bakteri (CFU.mL <sup>-1</sup> )	Cendawan (CFU.mL <sup>-1</sup> )	Bakteri (CFU.mL <sup>-1</sup> )	Cendawan (CFU.mL <sup>-1</sup> )
Kontrol	9,03 x 10 <sup>4</sup>	TSUD	1,09 x 10 <sup>7</sup>	TSUD
Kompos (T)	1,04 x 10 <sup>5</sup>	4,18 x 10 <sup>4</sup>	1,90 x 10 <sup>7</sup>	1,00 x 10 <sup>4</sup>
Solarisasi (P)	TSUD	TSUD	5,33 x 10 <sup>5</sup>	TT
P dan T	7,67 x 10 <sup>4</sup>	5,82 x 10 <sup>4</sup>	5,66 x 10 <sup>5</sup>	TT

**Keterangan :** TSUD = terlalu sedikit untuk dihitung, TT = tidak ditemukan



**Gambar 1.** Sintasan inokulum A) *R. lignosus* pada 1) perlakuan solarisasi, 2) tanpa perlakuan dan B) sklerotia *S. rolfsii* pada 1) perlakuan solarisasi, 2) tanpa perlakuan.

Selain karena terdapat mikroba termofilik, kelimpahan ini diakibatkan humufikasi bahan organik selama solarisasi menyediakan nutrisi bagi mikroba sehingga aktivitas dan kelimpahan mikroba meningkat (Paiman 2016; Wu et al. 2011; Fernandez-Bayo et al. 2019). Oleh karena itu, kesehatan tanah akan terbentuk dimana kesuburan tanah yang berperan dalam ketahanan tanaman dan kepadatan populasi mikroorganisme bermanfaat akan tercapai (Gebretsadkan et al. 2020), sehingga patogen akan tertekan.

**KESIMPULAN**

Solarisasi tanah memiliki kemampuan menekan pertumbuhan *R. lignosus* sebesar 80–100% dan *S. rolfsii* sebesar 100%. Sementara mikroba yang ditemukan pada perlakuan solarisasi tanah terdiri dari kelompok bakteri dan cendawan, masing-masing sebesar 7,67x10<sup>4</sup>–1,90x10<sup>7</sup> CFU m.L<sup>-1</sup> dan 1,00x10<sup>4</sup>–5,82x10<sup>5</sup> CFU m.L<sup>-1</sup>.

**DAFTAR PUSTAKA**

Al-Shammery ABG, Kouzani A, Gyasi-Agyei Y, Gates W, Rodrigo-Comino J. 2020. Effects of solarisation on soil thermal-physical properties under different soil treatments. *Geoderma*. 363: 1-17.

Aryantha IP, Cross R, Guest DI. 2000. Suppression of *Phytophthora cinnamomi* in potting mixes amended with uncomposted and composted animal manures. *Phytopathology*. 90(7):775–782.

Cicu. 2005. Penekanan penyakit akar gada pada tanaman kubis melalui perlakuan tanah pembibitan. *J Hortikultura*. 5(1): 58-66.

Charirak P, Saksirirat W, Jogloy S, Saepaisan S. 2016. Integration of soil solarization with chemical and biological control of stem rot disease of Jerusalem artichoke. *J Pure Appl Microbiol*. 10(4): 2531-2539.

Dania CO, Henry EU. 2022. Pathogenicity of *Sclerotium rolfsii* isolates causing stem and root rot disease of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) and Management Using *Trichoderma* Species. *Agrivita*. 44(1):105-118.

Diaz-Lopez M, Gracia C, Garrido I, Navarro S, Vela N, Nicolas, Fenoll, Bastida F. 2019. Solarization-based pesticide degradation results in decreased activity and biomass of the soil microbial community. *Geoderma*. 354:1-6.

Fernandez-Bayo JD, Hestmark KV, Claypool JT, Harrold DR, Randall TE, Achmon Y, Stapleton JJ, Simmons CW, VanderGheynst JS. 2019. The initial soil microbiota impacts the potential for lignocellulose degradation during soil solarization. *JAppl Microbiol* 126:1729-1741.

Fitriani LB. 2019. Pengaruh solarisasi tanah dan bahan organik terhadap ketahanan hidup *Rigidoporus lignosus* penyebab penyakit busuk akar putih [Skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.

Gebretsadkan A, Araya A, Fitiwy I, Yohannes T, Kalayu Z. 2020. Effect of pesticidal weed extracts and soil solarization on soil health and management of onion white rot (*Sclerotium cepoviru*). *Arch Phytopatol Plant Protect*. 1-15. <https://doi.org/10.1080/03235408.2020.1787925>.

Gerik JS, Hanson BD. 2011. Drip application of methyl bromide alternative chemicals for control of soilborne pathogens and weeds. *Pest Manag. Sci*. 67: 1129–1133.

Gusnawaty HS, Taufik M, Satrah VN, Putri NP, Bande LOS, Mariadi A. 2020a. In vitro biocontrol potential and mechanism of inhibition of indigenous *Trichoderma* isolates from Southeast Sulawesi

- Province of Indonesia against *Sclerotium rolfsii*. Plant Protect. 4(3): 109-115.
- Gusnawaty HS, Taufik M, Bande LOS, Satrah VN, Putri NP, Mariadi M, Rhaman A, Asniah A. 2020b. Potential of dosage of bokhasi 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*. IOSR J Agric Veter Sci. 13: 42-50.
- Hamdani KK, Susanto H. 2020. Pengendalian organisme pengganggu tanaman melalui solarisasi tanah. Agrosainstek: JllmuTeknol Pertan. 4(2):146-154.
- Hernández-Lara A, Ros M, Cuartero J, Pascual J. 2022. Effects of Solarization Combined with Compost on Soil Pathogens and Microbial Community in Cropping System. SSRN; [diakses tanggal 6 Juni 2022]. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4125913>.
- Jimenez LI, Saldivar HL, Flores AC, Aguilar LAV. 2012. Soil solarization enhances growth and yield in dry beans. Soil Plant Sci 62(6):541-546.
- Kanaan H, Frenk S, Raviv M, Medina S, Minz D. 2018. Long and short term effects of solarization on soil microbiome and agricultural production. Appl Soil Ecol 124" 54-61.
- Kartini, Widodo. 2000. Pengaruh solarisasi tanah terhadap pertumbuhan *Sclerotium rolfsii* Sacc. dan patogenesitasnya pada kacang tanah. Bul Hama PenyTumb. 12(2) 53-59.
- Keinath AP, Batson WE. 2000 Evaluation of biological and chemical seed treatments to improve stand of snap bean across the southern U.S. Crop Protect. 19: 501–509.
- Litterick AM, Harrier L, Wallace P, Watson CA, Wood M. 2004. The role of uncomposted materials, composts, manures, and compost extracts in reducing pest and disease incidence and severity in sustainable temperate agricultural and horticultural crop production-A review. Crit Rev Plant Sci. 23(6):453–479.
- Martinez-Escudero CM, Garrido I, Flores P, Hellin P, Contreras-Lopez F, Fenoll J. 2022. Remediation of triazole, anilinopyrimidine, strobilurin and neonicotinoid pesticides in polluted soil using ozonation and solarization. J Environ Manag. 310:1-10.
- Mihajlovic M, Rekanovic E, Hrustic J, Tanovic B. 2017. Methods for management of soilborne plant pathogens. Pestic. Fitomedicina. 32:9–24.
- Morra L, Carrieri R, Fornasier F, Mormile P, Rippa M, Baiano S, Cermola M, Piccirillo G, Lahoz E. 2018. Solarization working like a “solar hot panel” after compost addition sanitizes soil in thirty days and preserves soil fertility. Appl Soil Ecol. 126: 65-74.
- Paiman. 2016. Solarisasi tanah pra-tanam (ST-PT): teknologi pengendalian organisme pengganggu tanaman (OPT) tanpa pestisida. Yogyakarta (ID): UPY Press.
- Panth M, Hassler SC, Baysal-Guler F. 2020. Methods for management of soilborne diseases in crop production. Agriculture. 10(16):1-12.
- Rahayu MS, Lubis L, Oemry S. 2017. Distribusi peta awal serangan penyakit jamur akar putih (*Rigidoporus microporus* (Swartz: Fr)) pada beberapa perkebunan karet rakyat di Kabupaten Asahan. J Agroekoteknol. 17:131-137.
- Ramdan EP, Perkasa AY, Munif A, Astuti D, Hanif A, Wati C, Afriani A, Nurholis N. 2020. Abundance of soil microbial communities and plant growth in agroecosystems and forest ecosystems. Eur J Forest Sci. 8(2):123-128.
- Rodliyaton S, Triyanti S, Suseno SH, Nugroho DA, Widodo W. 2019. Standar operasional prosedur budi daya nanas sebagai upaya penanggulangan serangan hama dan penyakit pada tanaman nanas. JPusat Inovasi Masyarakat 1(1):13-20.
- Sabatino L, D'Anna F, Prinzi Valli C, Iapichino G. 2019. Soil solarization and calcium cyanamide affect plant vigor, yield, nutritional traits, and nutraceutical compounds of strawberry grown in a protected cultivation system. Agronomy 9(9):1-14.
- Sumartini. 2012. Penyakit tular tanah *Sclerotium rolfsii* dan *Rhizoctonia solani* pada tanaman kacang-kacangan dan umbi-umbian serta cara pengendaliannya. J Litbang Pertanian. 31(1): 27-34.
- Tomazeli VN, dos Santos I, Morales RGF, Figueiredo AST. 2019. Soil solarization in the control of bean disease caused by *Sclerotium rolfsii*. Braz Agric 94(1):1-9.
- Wang KH, Mcsorley R, Kokalis-Burelle N. 2006. Effects of cover cropping, solarization, and soil fumigation on nematode communities. Plant Soil. 286 (2): 229–243.
- Wu S, Nishihara M, Kawasaki Y, Yokoyama A, Matsuura K, Koga T, Ryuda N, Ueno D, Inoue K, Someya T. 2011. Soil solarization in a greenhouse for controlling fecal contamination. Environ Control Biol. 49(4): 185 191.
- Zalma SA, El-Sharoud WM. 2021. Diverse thermophilic Bacillus species with multiple biotechnological activities are associated within the Egyptian soil and compost samples. Sci Progress. 104(4):1-4.