

The Impact of Microplastics on Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis in Plants (*Solanum lycopersicum*): A Literature Review

Putri Rahmadhani*, R. Susanti, Talitha Widiatningrum

Science Education, Faculty of Mathematics and Science, Universitas Negeri Semarang, Semarang, Indonesia;

Article History

Received : June 25th, 2026

Revised : July 05th, 2026

Accepted : August 01st, 2026

*Corresponding Author: **Putri Rahmadhani**, Program Studi Pendidikan IPA, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan, Semarang, Indonesia;
Email: putriahmadhani1710@students.unnes.ac.id

Abstract: Microplastic (MP) contamination in agricultural soils is an emerging anthropogenic threat that disrupts the rhizosphere of horticultural crops. Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) play an important role in improving nutrient uptake and stress resilience in tomato (*Solanum lycopersicum*), but their symbiotic relationship may be impaired by plastic residues. This literature review aims to synthesize the mechanisms by which microplastics disrupt AMF–tomato symbiosis and their implications for plant growth and productivity. A narrative-systematic literature review was conducted using Google Scholar, Scopus, and PubMed, covering publications from 2018–2026. Twenty-five relevant scientific articles were selected based on predefined inclusion and exclusion criteria. The synthesis indicates that microplastics act as physical and chemical stressors in the rhizosphere. Physically, they alter soil porosity and may damage extraradical AMF hyphae, while chemically, released additives can interfere with root–fungus signaling and reduce mycorrhizal colonization. These disruptions may impair arbuscule formation, water and nutrient acquisition, particularly phosphorus and zinc, and consequently reduce plant biomass and productivity. Reduced AMF protection may also increase tomato susceptibility to soil-borne pathogens such as *Fusarium*. Under severe contamination, nanoplastics may potentially enter root vascular tissues and raise concerns regarding food safety. Overall, microplastic pollution can weaken the ecological functions of AMF–tomato symbiosis and threaten sustainable tomato production.

Keywords: Arbuscular Mycorrhizal Fungi; Domino Effect Microplastics; Rhizosphere; *Solanum lycopersicum*.

Pendahuluan

Tomat (*Solanum lycopersicum*) merupakan salah satu komoditas hortikultura strategis yang memiliki nilai ekonomi tinggi serta dikonsumsi secara luas di tingkat global maupun nasional. Keberadaan komoditas ini tidak hanya berperan penting dalam mendukung ketahanan pangan, tetapi juga menjadi penopang perekonomian masyarakat petani. Meningkatnya pemenuhan kebutuhan pangan nasional tecermin dari data Badan Pusat Statistik (BPS, 2025) yang mencatat kenaikan konsumsi rumah tangga serta volume produksi tomat Indonesia, yakni mencapai 1,15 juta ton pada tahun 2024 dan meningkat menjadi 1,22 juta ton pada tahun

2025. Seiring dengan peningkatan target produktivitas tersebut, pengelolaan kesehatan tanah sebagai media tumbuh utama menjadi faktor penentu keberlanjutan produksi pertanian tomat.

Sebagai tanaman yang sensitif terhadap pasokan hara dan lingkungan, produktivitas *S. lycopersicum* sangat bergantung pada kualitas dan keanekaragaman hayati mikroba tanah (Yahaya *et al.*, 2018). Salah satu kelompok mikroorganisme tanah yang memegang peran vital adalah Jamur Mikoriza Arbuskular (JMA). Simbiosis mutualisme obligat antara JMA dan akar tomat terjadi melalui pembentukan jaringan hifa eksternal yang meluas melampaui zona rizosfer (Ilwati *et al.*, 2024). Perluasan area

penyerapan ini terbukti meningkatkan efisiensi serapan air dan unsur hara tidak bergerak seperti fosfor (P), sekaligus meningkatkan toleransi tanaman terhadap cekaman biotik maupun abiotik (Zendrato & Lase, 2025). Oleh karena itu, keberadaan simbiosis JMA-tomat menjadi salah satu pilar utama dalam menjaga efisiensi nutrisi dan ekosistem pertanian berkelanjutan.

Namun demikian, integritas ekosistem tanah dan keberlangsungan simbiosis mutualisme ini kini terancam oleh meningkatnya polusi antropogenik, khususnya kontaminasi mikroplastik (MPs). Partikel sintetis berukuran kurang dari 5 mm ini telah terakumulasi secara masif di lahan pertanian global akibat penggunaan mulsa plastik yang terfragmentasi, aplikasi pupuk kompos/lumpur limbah tercemar, serta air irigasi yang membawa limbah domestik (Garbuonis *et al.*, 2026; Ratnaningsih *et al.*, 2025). Masuknya MPs ke dalam tanah terbukti mengubah sifat fisik, kimia, dan biologi rizosfer, seperti menurunkan kerapatan massa tanah (*bulk density*), merusak agregat tanah, dan mengganggu retensi air. Perubahan mendasar pada kondisi fisik-kimia tanah ini berpotensi merusak kolonisasi JMA pada akar dan menghambat kerja hifa eksternal dalam menyerap hara.

Meskipun dampak fisik mikroplastik terhadap sifat tanah mulai banyak dikaji, pemahaman mengenai mekanisme spesifik bagaimana gangguan fisik-kimia akibat MPs merusak interaksi biologis dan komunikasi sinyal molekuler antara *S. lycopersicum* dan JMA masih sangat terbatas dan belum tersintesis secara utuh. Sebagian besar studi terdahulu hanya berfokus pada dampak tunggal mikroplastik terhadap tanaman tanpa mempertimbangkan respons dinamika simbiotik mikroba rizosfer. Oleh karena itu, tinjauan ini bertujuan untuk memetakan secara komprehensif dampak kontaminasi mikroplastik terhadap kualitas kolonisasi JMA, efisiensi penyerapan hara, serta implikasinya terhadap respons fisiologis tanaman tomat. Urgensi dari sintesis ini terletak pada penyediaan dasar teoritis yang kuat guna merumuskan strategi bioremediasi tanah dan mitigasi polusi plastik dalam rangka menjaga keberlanjutan sistem pertanian hortikultura di masa depan.

Bahan dan Metode

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode tinjauan literatur (*literature review*) dengan pendekatan studi penelusuran naratif-sistematis. Metode ini dipilih untuk mengumpulkan, mengevaluasi secara kritis dan menyintesis kumpulan data dari berbagai penelitian primer yang relevan mengenai dampak paparan mikroplastik terhadap sistem simbiosis Jamur Mikoriza Arbuskular (JMA) pada tanaman tomat (*Solanum lycopersicum*).

Strategi Pengumpulan Data dan Sumber Literatur

Pencarian artikel jurnal ilmiah dilakukan secara komprehensif melalui tiga database elektronik bereputasi internasional dan nasional, yaitu Google Scholar, Scopus dan PubMed. Untuk mengoptimalkan relevansi artikel yang ditemukan pencarian dilakukan dengan menggunakan kombinasi kata kunci (*keywords*) dan operator Boolean (AND/OR) sebagai berikut: “Microplastics” AND “arbuscular mycorrhizal fungi” AND “tomato” “Microplastics” AND “AMF colonization” AND “*Solanum lycopersicum*” “Nanoplastics” AND “soil pollution” AND “mycorrhizal symbiosis”

Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Kebaruan ilmiah dari artikel review yang disusun diterapkan kriteria seleksi ketat terhadap artikel yang ditemukan:

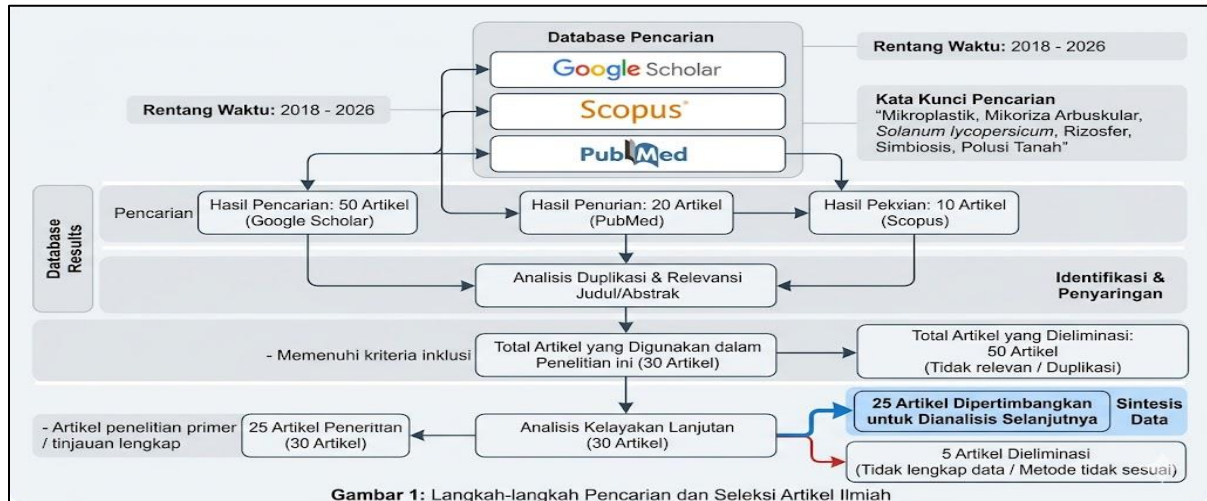
Kriteria Inklusi:

1. Artikel dipublikasikan dalam rentang waktu **2018–2026** guna memastikan data yang digunakan mencerminkan perkembangan terkini di bidang polusi plastik terestrial.
2. Artikel berupa jurnal penelitian primer (*original research article*) atau artikel tinjauan (*review article*) yang telah melalui proses *peer-review*.
3. Fokus penelitian membahas dampak mikroplastik atau nanoplastik terhadap sifat fisik-kimia tanah rizosfer, perkembangan spora/hifa JMA, atau pertumbuhan tanaman hortikultura (khususnya tomat).

Pencarian artikel ilmiah ini dilakukan melalui tiga database internasional bereputasi tinggi yaitu Google Scholar, Scopus, dan

PubMed. Rentang waktu publikasi yang dipilih dibatasi pada artikel yang terbit antara tahun 2018 hingga 2026 guna memastikan bahwa data yang diperoleh merepresentasikan perkembangan teori dan temuan terkini. Kata kunci yang digunakan dalam proses pencarian mencakup kombinasi istilah seperti Mikroplastik, Mikoriza Arbuskular, *Solanum lycopersicum*, Rizosfer, Simbiosis, Polusi Tanah.

Hasil pencarian memperoleh 50 artikel yang di indeks oleh Google Scholar, 20 artikel terindeks PubMed dan 10 artikel terindeks Scopus. Total 80 artikel yang dicari kemudian disaring menjadi 30 artikel. Dari 30 artikel, 25 artikel dipertimbangkan untuk dianalisis selanjutnya. Langkah-langkah untuk mencari artikel tersebut secara singkat ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Langkah-langkah Pencarian dan Seleksi Artikel Ilmiah

Hasil dan Pembahasan

Ringkasan Hasil Penelusuran Literatur

Berdasarkan hasil penelusuran literatur yang memenuhi kriteria inklusi, diperoleh data

spesifik mengenai variasi jenis mikroplastik, dosis paparan serta dampaknya terhadap simbiosis JMA dan pertumbuhan tanaman tomat (*Solanum lycopersicum*) dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Sintesis Klasifikasi Literatur Dampak Mikroplastik terhadap Simbiosis JMA-Tomat

No	Fokus Klaster Dampak	Parameter Utama	Representasi Literatur (Penulis & Tahun)	Temuan Kunci & Dampak Mekanistik
1	Degradasi Properti Biofisik Tanah Rizosfer	Densitas tanah, porositas, stabilitas agregat, tata air tanah	Garbounis et al. (2026); Ratnaningsih et al. (2025); de Souza Machado et al. (2019); Cao et al. (2024); Qi et al. (2018)	Akumulasi MPs (terutama polimer PE, PP dari mulsa) menurunkan kerapatan lindak (<i>bulk density</i>) dan kapasitas ikat air, secara fisik memutus jaringan miselium hifa eksternal.
2	Disrupsi Jalur Sinyal Kimiawi & Toksisitas Sel	Senyawa <i>phthalate esters</i> , aditif <i>plasticizer</i> , pH mikro tanah	Kee et al. (2023); Viljoen et al. (2023); Iskandar et al. (2025); Chen et al. (2022)	Pelepasan (<i>leaching</i>) zat aditif plastik mengubah pH lingkungan rizosfer dan memblokir sinyal eksudat akar (<i>strigolactone</i>), memicu kegagalan komunikasi spora-tanaman inang.
3	Supresi Biologis Kolonisasi & Spora JMA	Di versitas taksa, viabilitas spora, persentase kolonisasi, hifa internal	Yang et al. (2021); Zhang et al. (2026); Jing et al. (2025); Zhou et al. (2024)	Menurunkan perkecambahan spora, merusak struktur arbuskula intra-radikal, menghambat sekresi enzim fosfatase, serta menggeser komunitas JMA ke arah taksa ruderal non-fungsional.

No	Fokus Klaster Dampak	Parameter Utama	Representasi Literatur (Penulis & Tahun)	Temuan Kunci & Dampak Mekanistik
4	Efek Domino (<i>Cascade</i>) Fisiologi & Imun Tanaman	Serapan P & Zn, kadar klorofil, stres oksidatif (ROS), kerentanan patogen	Alvarez et al. (2025); Hu et al. (2026); Yuan et al. (2026); Chen et al. (2025)	Terputusnya <i>Mycorrhizal Pathway</i> memicu defisiensi akut hara makro (P) dan mikro, klorosis daun akibat stres oksidatif, serta runtuhnya imun tanaman terhadap patogen <i>Fusarium</i> .
5	Penurunan Parameter Agronomis & Translokasi Vaskular	Biomassa tajuk, kualitas buah (Vit. C), akumulasi xilem	Qi et al. (2018); Yahaya et al. (2018); Zhou et al. (2026); Liang et al. (2026); Syahrul et al. (2025)	Menurunkan alokasi biomassa tajuk tomat sebesar 40–74% serta menurunkan kualitas buah. Partikel berukuran nano (<100 nm) menembus xilem akar dan bertranslokasi hingga ke daging buah.
6	Optimalisasi & Potensi Bioteknologi Agen Hayati	Adaptasi lahan kering, produktivitas, mitigasi stres	Ilwati et al. (2024); Zentrato & Lase (2025); Sulastru (2024)	JMA bertindak sebagai benteng mekanis-biologis untuk mitigasi stres lingkungan, namun efektivitas proteksinya runtuh apabila konsentrasi polutan MPs melewati ambang batas toleransi.

Karakteristik Mikroplastik di Lingkungan Perakaran Tomat

Kontaminasi mikroplastik (MPs) di dalam tanah pertanian saat ini mencapai tahap yang mengkhawatirkan dan menjadi ancaman bagi biosfer terestrial (Garbounis et al., 2026; Ratnaningsih et al., 2025). Ekosistem perakaran atau rizosfer tanaman tomat (*Solanum lycopersicum*) merupakan zona dinamis yang sangat sensitif terhadap perubahan kimia dan fisik tanah. Keberadaan partikel sintetis ini di sekitar akar tomat umumnya dipicu oleh penggunaan mulsa plastik pertanian, aplikasi pupuk kompos/lumpur limbah yang tercemar, serta air irigasi yang terkontaminasi. Ketika mikroplastik (MPs) masuk ke dalam zona ini, dampaknya tidak seragam, melainkan sangat ditentukan oleh tiga faktor utama: jenis/morfologi, ukuran, dan konsentrasi, serta adanya ancaman tidak langsung dari zat aditif yang terkandung di dalamnya. Residu plastik yang berasal dari fragmentasi mulsa konvensional seperti Polietilen (PE) dan Polipropilen (PP) umumnya mendominasi dalam bentuk mikrofiber dan mikrofilm yang secara fisik mengubah homogenitas matriks tanah (Qi et al., 2018; Zhou et al., 2026).

Selain faktor ukuran makro, perbedaan toksisitas yang signifikan ditemukan pada variasi dimensi partikel. Sementara mikroplastik berukuran besar memicu gangguan mekanis pada

ruang pori tanah, partikel berukuran nano (nanoplastik/NPs) dengan dimensi kurang dari 100 nm memiliki kemampuan sitotoksik yang jauh lebih merusak karena dapat menembus pembatas biologis dan masuk ke dalam jaringan internal akar secara langsung (Jing et al., 2025).

Di samping dampak fisik dari partikel polimer itu sendiri, ancaman kimiawi muncul dari peluruhan (*leaching*) zat aditif beracun yang terkandung di dalam plastik. Selama proses manufaktur, berbagai senyawa kimia seperti *plasticizer* dan *phthalate esters* ditambahkan untuk meningkatkan fleksibilitas plastik. Ketika MPs terakumulasi di lingkungan perakaran (*rhizosphere*) tanaman tomat, senyawa-senyawa aditif ini secara perlahan luruh dan terlarut ke dalam larutan tanah (Viljoen et al., 2023). Keberadaan senyawa toksik ini menciptakan lingkungan mikro yang tidak ramah bagi kelangsungan hidup mikroorganisme tanah, mengubah pH optimal rizosfer, serta meracuni metabolisme seluler perakaran secara sistemik (Chen et al., 2022; Iskandar et al., 2025).

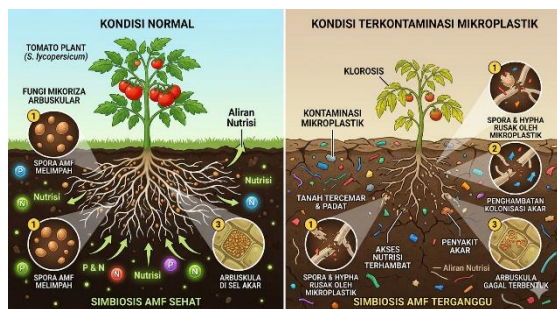
Dampak Mikroplastik terhadap Kolonisasi dan Spora AMF

Jamur Mikoriza Arbuskular (JMA) yang hidup di zona rizosfer tanaman tomat mengalami supresi biologis yang parah akibat perubahan kondisi lingkungan tersebut. Gangguan fisik tanah merupakan faktor primer yang

menghambat perkembangan miselium eksternal JMA. Keberadaan mikroplastik mengubah porositas tanah, menurunkan kapasitas ikat air, dan merusak agregasi tanah secara artifisial (de Souza Machado *et al.*, 2019). Karena hifa eksternal JMA membutuhkan ruang pori tanah yang stabil untuk memanjang dan menjelajah, perubahan struktur biofisik tanah akibat polimer plastik ini secara mekanis memutuskan jaringan miselium dan membatasi ruang hidup jamur (Zhou *et al.*, 2024). Hubungan simbiosis mutualisme antara akar tanaman dan hifa jamur terganggu akibat perubahan drastis pada kondisi fisik, kimia, dan biologi tanah.

Kondisi fisik tanah yang terdegradasi dan paparan zat aditif beracun secara linear berujung pada penurunan penghitungan spora serta intensitas kolonisasi JMA pada akar tomat. Berdasarkan data empiris global, keberadaan residu plastik dengan dosis tinggi secara konsisten menekan viabilitas agen hayati ini. Paparan polimer sintetik seperti Polistirena (PS) dan Polietilen (PE) terbukti menghambat proses perkecambahan spora JMA secara langsung di dalam tanah (Zhang *et al.*, 2026). Mengingat spora gagal berkecambah dengan optimal, persentase infeksi dan kolonisasi hifa fungsional di dalam jaringan akar *Solanum lycopersicum* mengalami penurunan yang drastis (Anggaini *et al.*, 2021). Akibatnya, hubungan mutualisme yang seharusnya terbentuk sejak fase awal pertumbuhan tanaman menjadi terhambat dan tidak fungsional.

Berdasarkan publikasi ilmiah internasional, berikut adalah visualisasi morfologi dan rincian dampak kontaminasi mikroplastik terhadap Fungi Mikoriza Arbuskular (AMF) pada gambar 2.



Gambar 2. Dampak kontaminasi mikroplastik terhadap Fungi Mikoriza Arbuskular (AMF)

Mikroplastik di lahan pertanian secara langsung telah dikonfirmasi menjadi ancaman global yang serius bagi kesehatan tanah dan simbiosis mikroba yang menguntungkan. Keberadaan partikel mikroplastik di dalam tanah secara signifikan mengubah sifat fisik dan mekanis tanah, seperti menurunkan kerapatan curah (*bulk density*) tanah. Hal ini merusak stabilitas agregat tanah dan memutuskan jalur rambat hifa eksternal menuju permukaan akar tanaman. Partikel plastik berinteraksi atau menyerap molekul sinyal kimia (eksudat) yang dikeluarkan oleh akar tanaman. Akibatnya, komunikasi biokimia antara tanaman inang dan spora AMF tersumbat, sehingga menghambat inisiasi simbiosis sejak fase awal. Hal ini dibuktikan melalui riset spesifik pada tanaman tomat oleh Weerasinghe & Madawala (2022) yang menemukan bahwa paparan berbagai jenis mikroplastik secara konsisten memangkas laju kolonisasi akar oleh AMF dan menurunkan jumlah kelimpahan spora jamur di area rizosfer secara drastis.

Dampak Domino (Cascade Effects) Pada Pertumbuhan Tomat

Dampak domino (*cascade effects*) adalah efek berantai negatif yang terjadi pada tanaman tomat akibat terganggunya hubungan simbiosis antara akar dan Fungi Mikoriza Arbuskular (AMF) oleh mikroplastik. Ketika kolonisasi AMF terhambat, tanaman tomat kehilangan "fasilitator" utama mereka di dalam tanah. Fungsi fundamental JMA bagi tanaman tomat adalah memfasilitasi penyerapan hara esensial yang tidak bergerak, terutama Fosfor (P) dan Nitrogen (N), melalui ekspresi enzim fungsional seperti fosfatase (Zhou *et al.*, 2024). Ketika jaringan hifa eksternal hancur dan jalur serapan mikoriza (*Mycorrhizal Uptake Pathway*) terputus akibat stres mikroplastik, tanaman tomat kehilangan organ komplemen penyerapan utamanya (Alvarez *et al.*, 2025; Hu *et al.*, 2026). Tomat terpaksa mengandalkan sistem akar rambutnya sendiri yang memiliki keterbatasan jangkauan di dalam tanah yang telah terkontaminasi, sehingga tanaman mengalami defisiensi hara makro (P dan N) secara kronis.

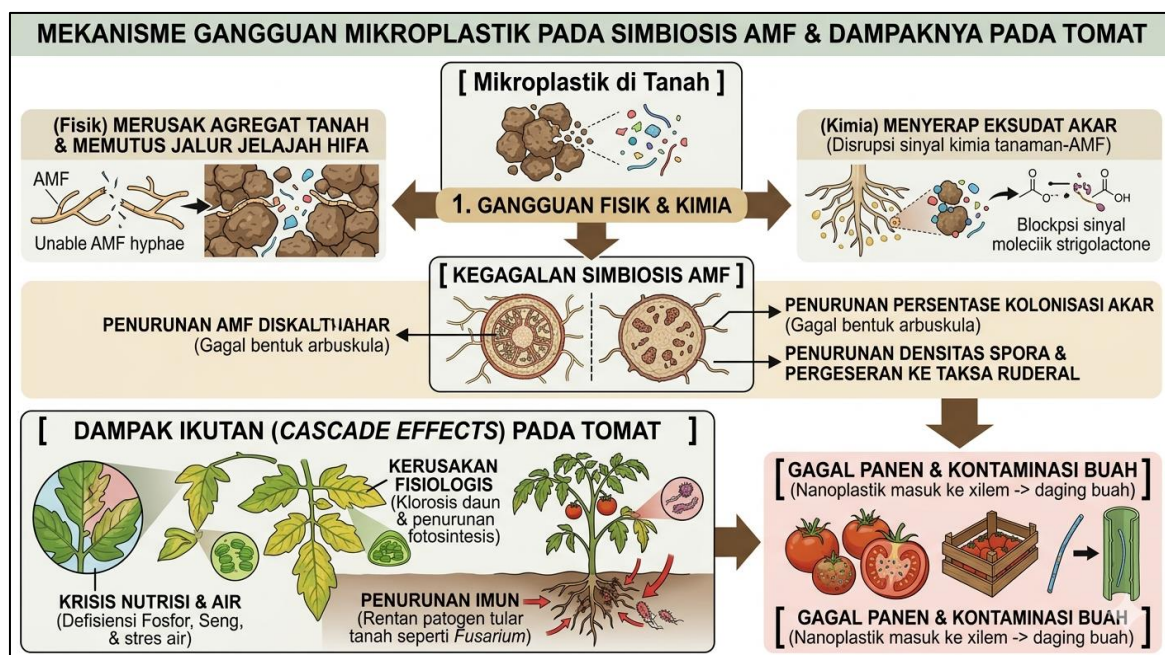
Dampak domino dari kegagalan nutrisi ini bermanifestasi nyata pada penurunan biomassa dan kerentanan tanaman tomat terhadap stres eksternal. Ketiadaan suplai P mengganggu

pembentukan energi seluler (ATP) yang dibutuhkan untuk pembelahan sel tanaman, menyebabkan penurunan alokasi biomassa pada bagian tajuk tanaman tomat ditemukan menyusut secara signifikan, dengan estimasi penurunan berkisar antara 40–74% (Qi *et al.*, 2018; Yahaya *et al.*, 2018). Penurunan berat kering akar dan malnutrisi ini juga membuat tanaman tomat kehilangan mekanisme pertahanan alami, sehingga mereka menjadi jauh lebih rentan ketika dihadapkan pada cekaman abiotik seperti stres kekeringan akibat rusaknya tata air tanah oleh plastik (Sun *et al.*, 2024). Pada akhirnya, dampak fisiologis lanjutan dari kondisi stres ini mencakup penurunan kadar klorofil daun, gangguan pada aktivitas fotosintesis dan memicu gejala kronis (daun menguning), sehingga fase akhir perkembangannya, kegagalan fungsi AMF akibat polusi mikroplastik ini berujung penurunan biomassa total tanaman, kekerdilan

fisik serta merosotnya kuantitas dan kualitas buah tomat yang dihasilkan (Zhou *et al.*, 2026; Liang *et al.*, 2026).

Mekanisme Gangguan Mikroplastik terhadap Simbiosis AMF dan Dampaknya pada Tanaman Tomat

Mikroplastik mengganggu simbiosis antara jamur *Arbuscular Mycorrhizal Fungi* (AMF) dan tanaman tomat dengan cara mengubah struktur tanah, membatasi ruang hidup jamur, dan melepaskan senyawa toksik. Hal ini menurunkan efektivitas penyerapan nutrisi, memicu stres oksidatif, dan pada akhirnya menghambat pertumbuhan serta biomassa tanaman tomat. Adapun berikut adalah visualisasi komprehensif mengenai mekanisme gangguan mikroplastik terhadap simbiosis *Arbuscular Mycorrhizal Fungi* (AMF) serta dampak berantainya pada tanaman tomat yang disajikan Gambar 3.



Gambar 3. Mekanisme Gangguan Mikroplastik pada Simbiosis AMF & Dampak pada Tomat

Berdasarkan gambar diatas mekanisme kerusakan bermula di lingkungan rizosfer tempat partikel mikroplastik menetap. Secara fisik mikroplastik merusak agregat tanah alami. Hal ini menciptakan hambatan mekanis yang secara langsung memutus jalur jelajah hifa eksternal AMF (*unable AMF hyphae*), sehingga jamur kehilangan kemampuan menjelajah matriks tanah untuk mencari hara (Machado *et al.*, 2019). Secara kimia mikroplastik bertindak sebagai

adsorben yang menyerap eksudat akar berharga yang dikeluarkan oleh tomat. Dampak paling fatal adalah terjadinya blokade sinyal molekuler *strigolactone* (Kee *et al.*, 2023). Karena sinyal kimia ini diserap oleh partikel plastik, spora AMF di sekitarnya mengalami disrupsi komunikasi dan gagal mengenali keberadaan akar tanaman tomat sebagai inangnya (Zhang *et al.*, 2026).

Dampak domino dari gangguan fisik dan

kimia tersebut bermuara pada runtuhnya sistem simbiosis di dalam perakaran (*Kegagalan Simbiosis AMF*). Analisis histologis pada penampang melintang akar di Gambar 3 menunjukkan terjadinya penurunan persentase kolonisasi akar yang dicirikan oleh kegagalan pembentukan arbuskula secara intra-radikal (Jing *et al.*, 2025). Tanpa adanya arbuskula yang sehat, barter nutrisi antara tanaman dan jamur terhenti total (Jing *et al.*, 2025). Selain merusak struktur internal, polusi plastik dosis tinggi memicu penurunan densitas spora di dalam tanah. Tekanan lingkungan yang tidak ramah ini memaksa terjadinya pergeseran komunitas mikroba lokal, di mana komunitas AMF bergeser ke arah taksa ruderal yaitu jenis kelompok jamur yang hanya mampu bertahan hidup dalam kondisi stres tinggi tetapi memiliki kemampuan simbiosis yang sangat rendah atau tidak aktif dalam menyuplai hara bagi tanaman (Yang *et al.*, 2021). Kombinasi antara kegagalan fungsi AMF dan gangguan rizosfer akhirnya memukul telak kondisi fisiologis tanaman tomat secara sistemik, yang dibagi menjadi beberapa gejala klinis diantaranya:

Krisis Nutrisi dan Air

Tanaman mengalami defisiensi akut hara esensial seperti Fosfor (P) dan Seng (Zn), disertai dengan cekaman stres air akibat hilangnya jaringan hifa penyerap (Hu *et al.*, 2026).

Kerusakan Fisiologis

Malnutrisi ini memicu klorosis (menguningnya) daun, rusaknya klorofil, dan penurunan laju fotosintesis secara drastis (Yuan *et al.*, 2026).

Penurunan Imun Tanaman

Tanpa perlindungan biologis dari AMF yang biasanya berfungsi sebagai benteng akar, tanaman tomat menjadi sangat rentan terinfeksi oleh patogen tular tanah yang mematikan, seperti jamur *Fusarium* yang memicu layu vaskular (Chen *et al.*, 2025). Akhir dari seluruh rantai kerusakan ini ditutup oleh gagal panen dan kontaminasi buah. Selain penurunan biomassa dan pembusukan organ vegetatif, nanoplastik yang berukuran ekstrem kecil terbukti mampu masuk menembus pembuluh xilem akar tanaman tomat. Partikel plastik nano ini kemudian ikut terbawa bersama aliran transpirasi menuju organ

reproduktif, hingga akhirnya terakumulasi dan mengkontaminasi daging buah tomat (Syahrul *et al.*, 2025). Hal ini tidak hanya menurunkan nilai ekonomi panen bagi petani, tetapi juga menimbulkan ancaman keamanan pangan serius bagi kesehatan manusia yang mengonsumsinya.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelusuran, ekstraksi, dan sintesis disimpulkan bahwa polusi mikroplastik dan nanoplastik di lahan pertanian bertindak sebagai *disruptor* utama yang melumpuhkan sistem simbiosis mutualisme antara Jamur Mikoriza Arbuskular (JMA/AMF) dan tanaman tomat (*Solanum lycopersicum*). Dampak buruk mikroplastik dikendalikan oleh mekanisme multidimensi yang saling berkesinambungan. Secara biofisik, residu plastik merusak agregat tanah dan memutus hifa eksternal, sementara secara biokimia zat aditif plastik memblokir sinyal molekul *strigolactone* yang dibutuhkan spora untuk mendeteksi akar inang. Hambatan ini memicu kegagalan simbiosis yang dicirikan oleh penurunan drastis persentase kolonisasi akar, kegagalan pembentukan arbuskula internal, serta pergeseran komunitas JMA ke arah taksa ruderal yang tidak fungsional. Lumpuhnya jaringan JMA memaksa tanaman tomat bergantung pada akar rambutnya yang terbatas, sehingga memicu efek domino berupa krisis nutrisi (terutama defisiensi Fosfor dan Seng) dan stres air. Akibatnya, tanaman tomat mengalami kerusakan fisiologis berupa klorofil yang terdegradasi, penurunan imun terhadap patogen tular tanah seperti *Fusarium*, serta penurunan alokasi biomassa tajuk hingga 40–74%. Rantai kerusakan ini berujung pada kegagalan panen serta ancaman ketahanan pangan serius akibat adanya translokasi nanoplastik yang menembus pembuluh vaskular (xilem) hingga mengontaminasi daging buah tomat.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Program Magister Pendidikan IPA Universitas Negeri Semarang atas dukungan dan fasilitas. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Dosen Pengampu Mata Kuliah Biologi: Konsep dan

Aplikasi yang selama ini mengarahkan dalam penulisan jurnal ini. Tidak lupa pada Jurnal Biologi Tropis yang membantu dalam memfasilitasi account dan review jurnal ini.

Referensi

- Anggiani, Y. A., Proborini, M. W., Muksin, I. K., & Dan Narayani, I. (2021). Aplikasi fungi mikoriza arbuskula *Glomus* sp. dan *Trichoderma* sp. sebagai pupuk hayati dan biostimulator pertumbuhan tanaman tomat (*Solanum lycopersicum* L.). *Jurnal Biologi Udayana*, 25(2), 111-121. <https://doi.org/10.24843/JBIOUNUD.2021.v25.i02.p02>
- Álvarez-Lopezello, J., Cruz-Martínez, H., González-Méndez, B., Chávez-García, E., & Sunny, A. (2025). Deciphering the effects of microplastics on arbuscular mycorrhizal fungi: Current knowledge and future research perspectives. *Applied Soil Ecology*, 215, 106477. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2025.106477>
- Cao, X., Wang, C., Luo, X., Yue, L., White, J. C., Wang, Z., & Xing, B. (2024). Nano-and microplastics increase the occurrence of bacterial wilt in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *ACS nano*, 18(27), 18071-18084. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acsnano.4c05875>
- Chen, Z., Carter, L. J., Banwart, S. A., & Kay, P. (2025). Microplastics in soil–plant systems: current knowledge, research gaps, and future directions for agricultural sustainability. *Agronomy*, 15(7), 1519. <https://doi.org/10.3390/agronomy15071519>
- de Souza Machado, A. A., Lau, C. W., Kloas, W., Bergmann, J., Bachelier, J. B., Faltin, E., ... & Rillig, M. C. (2019). Microplastics Can Change Soil Properties and Affect Plant Performance. *Environmental science & technology*, 53(10), 6044-6052. <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.est.9b01339>
- Gamage, G. G. H. M., Madanayake, N. H., Premarathna, M., & Madawala, H. M. S. P. (2025). Effect of Microplastics on Rhizosphere And Arbuscular Mycorrhizal Fungi of *Zea mays*. *Ceylon Journal of Science*, 54(3). <https://doi.org/10.4038/cjs.v54i3.8944>
- Garbounis, G., Karasali, H., & Komilis, D. (2026). Origin, Occurrence and Threats of Microplastics in Agricultural Soils: A Comprehensive Review. *Sustainability*, 18(3), 1524. <https://doi.org/10.3390/su18031524>
- Hu, H., Liu, B., Sang, Y., Zhang, T., Yang, Y., Zhou, C., ... & Huang, Z. (2026). Effects of microplastics on the plant-arbuscular mycorrhizal fungal symbiotic system: type, size, and concentration. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 42(2), 82. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11274-026-04813-4>
- Ilwati, U., Sudharmawan, A. K., & Sudantha, I. M. (2024). The effect of mycorrhiza on sorghum plants in dryland areas. *Jurnal Biologi Tropis*, 24(62), 294-3. <https://doi.org/10.29303/jbt.v24i2b.8087>
- Iskandar, D. V., Juwitasari, K. S., Pasha, E. I., Sari, E. T., & Arini, L. D. D. (2025). Studi Toksikologi Biokimia: Dampak Senyawa Beracun Terhadap Proses Metabolisme Seluler dan Kesehatan Manusia. *Student Scientific Creativity Journal*, 3(2), 84-96. <https://doi.org/10.55606/sscj-amik.v3i2.5520>
- Jing, X., Zhang, X., Wang, X., Chen, H., Xing, S., Jin, Z., ... & Chen, B. (2025). Bidirectional interference between nanoplastics and arsenic in arbuscular mycorrhizal symbiosis: Reciprocal modulation of uptake, transformation and translocation. *Journal of Hazardous Materials*, 139983. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2025.139983>
- Kee, Y. J., Ogawa, S., Ichihashi, Y., Shirasu, K., & Yoshida, S. (2023). Strigolactones in rhizosphere communication: multiple molecules with diverse functions. *Plant and Cell Physiology*, 64(9), 955-966. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcad055>
- Liang, Y., Zhang, M., Guan, M., Liu, S., Chen, J., Yang, R., & Zhang, Y. (2026). Microplastics reshape rhizosphere microbial communities and nutrient cycling in tomato agroecosystems. *BMC*

- biology. <https://doi.org/10.1186/s12915-026-02633-4>
- Qi, Y., Yang, X., Pelaez, A. M., Lwanga, E. H., Beriot, N., Gertsen, H., ... & Geissen, V. (2018). Macro-and micro-plastics in soil-plant system: effects of plastic mulch film residues on wheat (*Triticum aestivum*) growth. *Science of the Total Environment*, 645, 1048-1056. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.229>
- Ratnaningsih, W., Prayogo, W., Saputra, A., & Shabrina, H. M. (2025). Kajian literatur identifikasi dan pemahaman tentang kontaminasi mikroplastik di biosfer. *Torani Journal of Fisheries and Marine Science*, 9(1), 72-90. <https://doi.org/10.35911/torani.v9i1.46625>
- Syahrul, M. R., Nurhidayati, N., & Muslikah, S. (2025). Pengaruh penambahan nanopartikel ZnO dan SiO₂ terhadap hasil dan kualitas buah tomat (*Solanum lycopersicum* esculentum.). *AGRONISMA*, 12(2). <http://repository.unisma.ac.id/handle/123456789/12778>
- Yahaya, S. U., Shu'aibu, A. A., Usman, A., & Lado, A. (2018). Productivity of Tomato (*Solanum lycopersicon* L.) as affected by Cultivar and Organic amendment in Kano. *Journal of Organic Agriculture and Environment*, 6(1). https://www.researchgate.net/publication/358667236_Productivity_of_Tomato_Solanum_lycopersicon_L_as_affected_by_Cultivar_and_Organic_amendment_in_Kano
- Viljoen, S. J., Brailsford, F. L., Murphy, D. V., Hoyle, F. C., Chadwick, D. R., & Jones, D. L. (2023). Leaching of phthalate acid esters from plastic mulch films and their degradation in response to UV irradiation and contrasting soil conditions. *Journal of Hazardous Materials*, 443, 130256. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.130256>
- Weerasinghe, W. M. T. M., & Madawala, H. M. S. P. (2022). Potential impacts of two types of microplastics on *Solanum lycopersicum* L. and arbuscular mycorrhizal fungi. *Ceylon Journal of Science*, 51(2). <https://cjs.sljol.info/en/articles/10.4038/cjs.v51i2.8008>
- Yang, W., Cheng, P., Adams, C. A., Zhang, S., Sun, Y., Yu, H., & Wang, F. (2021). Effects of microplastics on plant growth and arbuscular mycorrhizal fungal communities in a soil spiked with ZnO nanoparticles. *Soil Biology and Biochemistry*, 155, 108179. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108179>
- Yuan, M., Cao, S., Jiang, J., Song, Y., Kong, Q., Zhang, H., & Wang, T. (2026). Nanoplastics Induce Transgenerational Impacts on Tomato Growth, Oxidative Stress, and Nutritional Quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.jafc.5c17019>
- Zendrato, E. T. A., & Lase, N. K. (2025). Peran Mikroorganisme dalam Meningkatkan Produktivitas Tanaman: Pendekatan Bioteknologi Berbasis Mikrobiologi Pertanian. *Hidroponik: Jurnal Ilmu Pertanian Dan Teknologi Dalam Ilmu Tanaman*, 2(1), 142-151. <https://doi.org/10.62951/hidroponik.v2i1.234>
- Zhou, Y., Brunner, I., Liu, Z., Guo, W., Na, X., Liu, J., ... & Li, M. H. (2026). Mycorrhizal-specific responses of rhizosphere soil properties and fine-root traits to polystyrene microplastic addition in a temperate mixed forest. *Communications Earth & Environment*. <https://www.nature.com/articles/s43247-026-03237-0>
- Zhou, J., Xu, H., Xiang, Y., & Wu, J. (2024). Effects of microplastics pollution on plant and soil phosphorus: A meta-analysis. *Journal of Hazardous Materials*, 461, 132705. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.132705>