

**PENGARUH PENAMBAHAN NANOPARTIKEL ZnO DAN SiO₂ TERHADAP
HASIL DAN KUALITAS BUAH TOMAT (*Solanum lycopersicum esculantum* L.)**

Disusun Oleh :

Muhammad Reza Syahrul

NIM. 218.0103.1059



**PROGRAM STUDI AGROTEKNOLOGI
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS ISLAM MALANG
MALANG
2025**

**PENGARUH PENAMBAHAN NANOPARTIKEL ZnO DAN SiO₂ TERHADAP
HASIL DAN KUALITAS BUAH TOMAT (*Solanum lycopersicum esculantum* L.)**

SKRIPSI

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar
Sarjana Pertanian Strata Satu (S1)**

Disusun Oleh :

Muhammad Reza Syahrul

NIM. 218.0103.1059



**PROGRAM STUDI AGROTEKNOLOGI
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS ISLAM MALANG
MALANG**

2025



**PENGARUH PENAMBAHAN NANOPARTIKEL ZnO DAN SiO₂ TERHADAP
HASIL DAN KUALITAS BUAH TOMAT (*Solanum lycopersicum esculentum*.)**

**THE EFFECT OF ADDITION OF ZnO AND SiO₂ NANOPARTICLES ON THE
YIELD AND QUALITY OF TOMATO FRUIT (*Solanum lycopersicum
esculentum*.)**

Muhammad Reza Syahrul ¹, Siti Muslikhah ¹, Nurhidayati ^{1*}

¹Departemen Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Islam Malang
Jl. MT. Haryono No. 193 Malang 65144, Jawa Timur, Indonesia

*Korespondensi : nurhidayati@unisma.ac.id

Abstract

Tomato productivity in Indonesia continues to fluctuate and has even declined in recent years. Meanwhile, tomato consumption has increased year by year due to the growing awareness of healthy living by consuming nutritious fruits. One alternative approach developed to improve cultivation efficiency is the use of metal nanoparticles, such as zinc oxide (ZnO) and silicon dioxide (SiO₂), which play an important role in plant metabolism. This study aims to determine the effect of ZnO and SiO₂ nanoparticle application on tomato yield and quality. This study used a factorial Randomized Block Design (RBD) with two factors, where factor I was the type of nanoparticle (ZnO, SiO₂, and a combination) and factor II was the concentration of nanoparticles (25, 50, and 75 ppm), plus a control using 100% NPK fertilizer. The observed variables were tomato yield and quality. The collected data were analyzed using variance (F test) at the 5% level and Tukey's 5% test to determine differences between treatments. The results showed that SiO₂ (50 ppm) treatment gave the highest fruit weight and total yield, while the highest vitamin C content was obtained from ZnO (50 ppm) and the combination of ZnO+SiO₂ (25 ppm). These results suggest that nanoparticle application has the potential to increase tomato cultivation efficiency, although it has not completely replaced the effectiveness of conventional NPK fertilization.

Keywords: tomato, ZnO, SiO₂, nanoparticles, vitamin C, crop yield.

**PENGARUH PENAMBAHAN NANOPARTIKEL ZnO DAN SiO₂ TERHADAP
HASIL DAN KUALITAS BUAH TOMAT (*Solanum lycopersicum esculentum*.)**

**THE EFFECT OF ADDITION OF ZnO AND SiO₂ NANOPARTICLES ON THE
YIELD AND QUALITY OF TOMATO FRUIT (*Solanum lycopersicum
esculentum*.)**

Muhammad Reza Syahrul ¹, Siti Muslikhah ¹, Nurhidayati ^{1*}

¹Departemen Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Islam Malang
Jl. MT. Haryono No. 193 Malang 65144, Jawa Timur, Indonesia

*Korespondensi : nurhidayati@unisma.ac.id

Abstrak

Produktivitas tomat di Indonesia masih berfluktuasi dan bahkan mengalami penurunan dalam beberapa tahun terakhir. Sementara konsumsi tomat dari tahun ke tahun semakin meningkat dengan semakin meningkatnya kesadaran untuk hidup sehat dengan mengkonsumsi buah yang mengandung gizi tinggi. Salah satu pendekatan alternatif yang dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi budidaya adalah pemanfaatan nanopartikel logam, seperti zinc oxide (ZnO) dan silicon dioxide (SiO₂) yang memiliki peran penting dalam proses metabolisme tanaman. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh aplikasi nanopartikel ZnO dan SiO₂ terhadap hasil dan kualitas buah tomat. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) faktorial dengan dua factor, dimana factor I adalah jenis nanopartikel (ZnO, SiO₂, dan kombinasi) dan factor II adalah konsentrasi nano partikel (25, 50, dan 75 ppm), ditambah kontrol yang menggunakan pupuk NPK 100%. Variabel yang diamati adalah hasil dan kualitas tomat. Data yang dikumpulkan dianalisis ragam (Uji F) pada taraf 5% dan Uji Tukey 5% untuk mengetahui perbedaan antar perlakuan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan SiO₂ (50 ppm) memberikan hasil bobot buah dan total panen tertinggi, sedangkan kandungan vitamin C tertinggi diperoleh dari perlakuan ZnO (50 ppm) dan kombinasi ZnO+SiO₂ (25 ppm). Hasil penelitian ini menyarankan bahwa aplikasi nanopartikel menunjukkan potensi dalam meningkatkan efisiensi budidaya tomat, meskipun belum sepenuhnya menggantikan efektivitas pemupukan NPK konvensional.

Kata kunci: tomat, ZnO, SiO₂, nanopartikel, vitamin C, hasil tanaman.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tomat (*Solanum lycopersicum* L.) merupakan salah satu komoditas hortikultura yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan dibudidayakan secara luas di berbagai belahan dunia. Selain mudah dibudidayakan, tomat juga memiliki kandungan gizi yang tinggi, sehingga menjadi bahan pangan penting bagi masyarakat baik dalam bentuk segar maupun olahan. Buah tomat dikenal sebagai sumber utama vitamin C, vitamin A (dalam bentuk β -karoten), likopen, serta berbagai senyawa antioksidan dan fitokimia lain yang berperan penting dalam menjaga kesehatan tubuh, termasuk dalam pencegahan penyakit degeneratif seperti kanker dan penyakit kardiovaskular (Li *et al*, 2021). Selain itu, tomat juga merupakan tanaman yang relatif mudah dibudidayakan, sehingga banyak dijadikan komoditas utama oleh petani di berbagai wilayah.

Dalam prakteknya, produksi tanaman tomat mengalami penurunan. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik, produksi tomat nasional Indonesia mengalami penurunan dari tahun 2022 ke 2023. Pada tahun 2022, produksi tomat mencapai 11.687.437 kuintal (setara 1.168.743,7 ton), sementara pada tahun 2023 menurun menjadi 11.437.877 kuintal (setara 1.143.787,7 ton) (Badan Pusat Statistik, 2023). Penurunan sebesar 24.956 ton ini mengindikasikan adanya gangguan dalam sistem produksi, baik dari segi teknis budidaya, penurunan luas area tanam, maupun pengaruh faktor eksternal seperti kondisi iklim yang kurang mendukung atau meningkatnya serangan organisme pengganggu tanaman (OPT). Masalah lain yang mungkin berkontribusi adalah rendahnya efisiensi pemupukan dan penggunaan

varietas yang belum optimal. Kondisi ini menunjukkan perlunya inovasi dalam teknologi budidaya, termasuk penggunaan agen pemacu pertumbuhan berbasis nanoteknologi, untuk mengatasi stagnasi dan meningkatkan kembali produktivitas tomat di tingkat nasional. Namun demikian, produktivitas dan kualitas buah tomat seringkali dipengaruhi oleh berbagai faktor agronomis, termasuk pemupukan yang tidak tepat. Pemberian pupuk makro seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) memang penting, namun kurangnya unsur mikro seperti seng (Zn) dan silikon (Si) juga dapat menyebabkan terhambatnya pertumbuhan dan penurunan kualitas buah (Sadeghzadeh & Rengel, 2011). Pernyataan ini sependapat dengan Sharma *et al* (2013) menjelaskan kekurangan Zn menyebabkan pertumbuhan terhambat, gangguan fotosintesis, sintesis protein & karbohidrat, serta penurunan kualitas tanaman. Dalam beberapa tahun terakhir, pendekatan teknologi nano mulai dikembangkan dalam bidang pertanian untuk meningkatkan efisiensi serapan hara dan mengurangi dampak negatif lingkungan akibat pemupukan berlebihan.

Penggunaan pupuk organik dalam budidaya pertanian menjadi salah satu solusi memulihkan tanah agar dapat menghasilkan produksi tanaman yang optimal. Namun efek dari pupuk organik terhadap perbaikan kesuburan tanah membutuhkan waktu yang lama. Untuk mengatasi masalah ini dibutuhkan suatu teknologi maju yang memanfaatkan material berukuran kecil yang disebut dengan material nano dimana proses pembuatannya menggunakan teknologi nano. Menurut Nurhidayati *et al* (2023), pemanfaatan teknologi nano dalam sektor pertanian menunjukkan potensi yang signifikan, terutama dalam meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara melalui formulasi pupuk berbasis nano. Selain itu, teknologi ini berkontribusi dalam mengatasi

permasalahan penurunan produktivitas pertanian melalui pendekatan bioteknologi nano, serta mendukung strategi pengendalian organisme pengganggu tanaman dan pengembangan pestisida generasi terbaru. Namun demikian, penerapan teknologi nano masih memerlukan kajian lebih lanjut, khususnya pada komoditas sayuran seperti tomat yang dibudidayakan secara intensif, mengingat tanaman tersebut sangat rentan terhadap serangan hama dan penyakit serta memiliki kebutuhan unsur hara yang tinggi

Nanopartikel zinc oxide (ZnO) dan silikon dioksida (SiO₂) merupakan dua jenis nanopartikel yang mulai banyak diteliti karena potensinya dalam meningkatkan ketahanan tanaman serta kualitas hasil panen. Nanopartikel ZnO diketahui mampu memperbaiki fotosintesis, meningkatkan aktivitas enzim, dan merangsang pertumbuhan tanaman melalui peningkatan ketersediaan unsur Zn yang esensial bagi tanaman (Rizwan *et al.*, 2019). Sementara itu, nanopartikel SiO₂ berperan dalam meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stres abiotik, memperkuat jaringan tanaman, serta membantu dalam proses pengisian buah sehingga menghasilkan buah yang lebih berkualitas (Li *et al.*, 2025).

Penggunaan nanopartikel dalam bentuk aplikasi foliar (semprotan daun) diyakini mampu meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara dibandingkan bentuk konvensional. Namun, aplikasi nanopartikel dalam konsentrasi tinggi juga berpotensi menimbulkan efek toksik bagi tanaman. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui dosis atau konsentrasi yang optimal dari aplikasi nanopartikel ZnO dan SiO₂ agar dapat memberikan hasil dan kualitas buah tomat yang maksimal. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh pemberian nanopartikel ZnO dan SiO₂ pada berbagai konsentrasi terhadap

hasil dan kualitas buah tomat, dari sebuah studi eksperimental pada tanaman kentang menunjukkan bahwa aplikasi eksogen nanopartikel ZnO dan SiO₂ memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan pertumbuhan dan efisiensi fisiologis tanaman. Dalam penelitian tersebut, dosis 50 ppm ZnO dan 50 ppm SiO₂ terbukti paling efektif dibandingkan dosis lainnya (0 dan 100 ppm untuk ZnO dan 0 sampai 25 ppm untuk SiO₂), dengan memberikan dampak terbaik terhadap indeks fisiologi tanaman, hasil panen total, serta efisiensi penggunaan air. Temuan ini mengindikasikan bahwa pemberian nanopartikel dalam dosis yang tepat mampu mengoptimalkan performa tanaman secara menyeluruh, meskipun penelitian dilakukan pada kentang dan bukan pada tomat secara langsung (Al-Selwey *et al.*, 2023).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh aplikasi nanopartikel ZnO dan SiO₂ terhadap hasil buah tomat?
2. Bagaimana pengaruh aplikasi nanopartikel ZnO dan SiO₂ terhadap kualitas buah tomat, terutama kandungan vitamin C dan bobot buah?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh interaksi pemberian macam nanopartikel (ZnO dan SiO₂) pada berbagai konsentrasi terhadap hasil dan kualitas buah tomat.
2. Mengetahui pengaruh aplikasi macam nanopartikel (ZnO dan SiO₂) dan kombinasinya terhadap hasil dan kualitas buah tomat

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Sebagai sumber informasi ilmiah dalam pengembangan aplikasi nanopartikel di bidang pertanian, khususnya pada tanaman tomat.
2. Memberikan dasar ilmiah dalam menentukan konsentrasi optimal nanopartikel ZnO dan SiO₂ untuk meningkatkan hasil dan kualitas buah tomat.
3. Menjadi referensi bagi petani maupun peneliti dalam menerapkan teknologi berbasis nanomaterial secara efisien dan berkelanjutan.

1.5 Hipotesis

1. Aplikasi nanopartikel ZnO dan SiO₂ pada berbagai konsentrasi dapat meningkatkan hasil dan kualitas buah tomat dibandingkan dengan perlakuan kontrol
2. Terdapat pengaruh yang signifikan dari macam nanopartikel ZnO dan SiO₂ terhadap hasil dan kualitas buah tomat.
3. Aplikasi nanopartikel ZnO dan SiO₂ pada konsentrasi tertentu memberikan hasil dan kualitas buah tomat terbaik

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh penambahan nanopartikel ZnO dan SiO₂ pada konsentrasi yang berbeda terhadap hasil dan kualitas buah tomat, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Terdapat interaksi antara perlakuan macam nanopartikel dan konsentrasinya, dimana pada nanopartikel ZnO akan memberikan hasil buah tomat yang tinggi pada konsentrasi 25 ppm, sedangkan bila menggunakan nanopartikel SiO₂ hasil yang tinggi diperoleh pada konsentrasi 50 ppm, dan bila menggunakan nanopartikel ZnO + SiO₂ hasil tertinggi pada konsentrasi 75 ppm (37,5 ppm ZnO + 37,5 ppm SiO₂)
2. Total Padatan Terlarut (°Brix) dan kekerasan buah tomat tidak menunjukkan interaksi yang signifikan, namun macam nanopartikel memberikan pengaruh signifikan, dimana nanopartikel ZnO dengan konsentrasi 75 ppm memberikan kekerasan buah yang lebih tinggi dari pada NPK
3. Perlakuan N1K2 (ZnO 50 ppm) dan N3K1 (ZnO 12,5 ppm + SiO₂ 12,5 ppm) memberikan kandungan Vitamin C yang tinggi, namun tidak berbeda nyata dengan perlakuan NPK .

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian ini Perlakuan dengan kombinasi ZnO dan SiO₂ 25 ppm (12,5 + 12,5) ppm direkomendasikan untuk digunakan dalam budidaya tomat karena memberikan hasil dan kualitas buah yang optimal. Kombinasi ZnO dan SiO₂ pada dosis rendah hingga sedang terbukti memberikan efek sinergis terhadap produktivitas tanaman. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk menguji konsentrasi di bawah 25 ppm hingga 50 ppm dengan variasi media tanam dan kondisi stres lingkungan.



DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, M., Tóth, Z., Rizk, R., Abdul-Hamid, D., & Decsi, K. 2025. Investigation of Antioxidative Enzymes and Transcriptomic Analysis in Response to Foliar Application of Zinc Oxide Nanoparticles and Salinity Stress in *Solanum lycopersicum*. *Agronomy*, 15(7), 1–30. <https://doi.org/10.3390/agronomy15071715>
- Ahmed, R., Abd Samad, M. Y., Uddin, M. K., Quddus, M. A., & Motalib Hossain, M. A. 2021. Recent trends in the foliar spraying of zinc nutrient and zinc oxide nanoparticles in tomato production. *Agronomy*, 11(10), 1–15. <https://doi.org/10.3390/agronomy11102074>
- Al-Selwey, W. A., Alsadon, A. A., Ibrahim, A. A., Labis, J. P., & Seleiman, M. F. 2023. Effects of Zinc Oxide and Silicon Dioxide Nanoparticles on Physiological, Yield, and Water Use Efficiency Traits of Potato Grown under Water Deficit. *Plants*, 12(1), 218. <https://doi.org/10.3390/plants12010218>
- Badan Pusat Statistik. 2023. *Statistik Hortikultura 2023: Produksi tomat nasional mencapai 1,14 juta ton, turun 2,14% dari 2022*. <https://www.bps.go.id/publication.html>
- Bodaghi, H. 2024. Characterization and application of the nanocomposite packaging films containing clay and TiO₂ on preservation of tomato fruit under cold storage. *BMC Plant Biology*, 24(1), 1–18. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05215-0>
- Broadley, M. R., White, P. J., Hammond, J. P., Zelko, I., & Lux, A. 2007. Zinc in plants. *New Phytologist*, 173(4), 677–702. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.01996.x>
- D, E. S., Yusuf, M., & Yarnika, D. 2017. Karakter Agronomi Beberapa Varietas Tomat (*Solanum lycopersicum*) Akibat Pemberian Ekstrak Lamtoro (*Leucaena leucocephala* L.). *Jurnal Agrium*, 12(1), 125. <https://doi.org/10.29103/agrium.v11i2.617>
- Danni, R. (2016). Morfologi tanaman tomat. *Jurnal Pertanian Tropika*, 7(2), 112–117.
- de la Rosa, G., López-Moreno, M. L., de Haro, D., Botez, C. E., Peralta-Videa, J. R., & Gardea-Torresdey, J. L. 2013. Effects of ZnO nanoparticles in alfalfa, tomato, and cucumber at the germination stage: Root development and X-ray absorption spectroscopy studies. *Pure and Applied Chemistry*, 85(12), 2161–2174. <https://doi.org/10.1351/PAC-CON-12-09-05>
- Desy, L. 2018. *Taksonomi dan klasifikasi tanaman hortikultura*. Universitas Terbuka.
- Dimkpa, C. O., Bindraban, P. S., Fugice, J., Agyin-Birikorang, S., Singh, U., & Hellums, D. 2017. Composite micronutrient nanoparticles and salts decrease drought stress in soybean. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(1), 5. <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0412-8>

- Elsheery, N. I., Helaly, M. N., El-Hoseiny, H. M., & Alam-Eldein, S. M. 2020. Zinc oxide and silicone nanoparticles to improve the resistance mechanism and annual productivity of salt-stressed mango trees. *Agronomy*, 10(4), 558. <https://doi.org/10.3390/agronomy10040558>
- Ernst, D., Kolenčík, M., Kupec, M., Šebesta, M., Qian, Y., Straka, V., Černý, I., Soulangé, J. G., & Ducsay, L. 2024. Effects of Zinc Oxide and Zinc–Silica-Based Nanofertilizers with Yeasts on Selected Components of Soybean in the Central European Agronomic Region: A Short-Term Study. *Agronomy*, 14(9), 2138. <https://doi.org/10.3390/agronomy14092138>
- Gao, X., Kundu, A., Persson, D. P., Szameitat, A., Minutello, F., Husted, S., & Ghoshal, S. 2023. Application of ZnO Nanoparticles Encapsulated in Mesoporous Silica on the Abaxial Side of a *Solanum lycopersicum* Leaf Enhances Zn Uptake and Translocation via the Phloem. *Environmental Science and Technology*, 57(51), 21704–21714. <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c06424>
- Gusti, H. 2016. Studi morfologi akar tanaman tomat. *Jurnal Ilmu Pertanian*, 10(3), 98–104.
- Hamidi, A. 2017. Struktur anatomi batang tomat. *Jurnal AgroBiologi*, 5(1), 45–52.
- Hasanuddin, A.; Subekti, R.; Nuraini, D. 2020. Peran unsur hara mikro pada pertumbuhan tanaman hortikultura. *Jurnal Ilmu Tanah Dan Agroklimatologi*, 17(2), 132–139.
- Hassan, N. 2021. “Effect Of ZnO Nanoparticles on the Physical, Chemical and Nutritional Quality of Tomato Plant (*Solanum Lycopersicum*).” *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*, 39(5). <https://doi.org/10.26717/bjstr.2021.39.006351>
- Herdiantoro, D. 2015. Upaya Peningkatan Kualitas Tanah Di Desa Sukamanah Dan Desa Nanggerang Kecamatan Cigalontang Kabupaten Tasikmalaya Jawa Barat Melalui Sosialisasi Pupuk Hayati, Pupuk Organik Dan Olah Tanah Konservasi. *Dharmakarya*, 4(2), 47–53. <https://doi.org/10.24198/dharmakarya.v4i2.10028>
- Klee, H. J., & Giovannoni, J. J. 2011. Genetics and Control of Tomato Fruit Ripening and Quality Attributes. *Annual Review of Genetics*, 45(1), 41–59. <https://doi.org/10.1146/annurev-genet-110410-132507>
- Li, F., Hou, Y., Chen, L., & Qiu, Y. 2025. Advances in silica nanoparticles for agricultural applications and biosynthesis. *Advanced Biotechnology*, 3(2). <https://doi.org/10.1007/s44307-025-00067-7>
- Li, N., Wu, X., Zhuang, W., Xia, L., Chen, Y., Wu, C., Rao, Z., Du, L., Zhao, R., Yi, M., Wan, Q., & Zhou, Y. 2021. Tomato and lycopene and multiple health outcomes: Umbrella review. *Food Chemistry*, 343, 128396. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128396>

- Mardaus, M.; Supriyadi, R.; Nuryani, E. 2019. Pengaruh kalium terhadap mutu buah tomat. *Jurnal Agroteknologi Tropika*, 4(2), 56–64.
- Nugraha, Y.; Harjanto, E. 2022. Pengaruh aplikasi nanopartikel silika terhadap pertumbuhan dan kualitas buah tomat. *Jurnal Nanoteknologi Pertanian*, 6(1), 12–19.
- Nurhidayati, S.I. Tito, A. Basit, and N. U. . R. 2023. *Peluang dan prospek teknologi nano dalam sistem produksi pertanian di Indonesia*. UNISMA Press. <https://unismapress.unisma.ac.id/product/peluang-dan-prospek-teknologi-nano-dalam-sistem-produksi-pertanian-di-indonesia>
- Nurhidayati, & Muslikah, S. 2022. Application of Nano-Vermicompost Improves NPK Nutrient Uptake , Chlorophyll Content and Yield of Caisim Mustard. *Proceeding of International Conference on Multidisciplinary Sciences for Humanity in The Society 5.0*, 2, 163–171.
- Patiño-Ruiz, D., Sánchez-Botero, L., Tejeda-Benitez, L., Hinestroza, J., & Herrera, A. 2020. Green synthesis of iron oxide nanoparticles using *Cymbopogon citratus* extract and sodium carbonate salt: Nanotoxicological considerations for potential environmental applications. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 14, 1–39. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2020.100377>
- Pinedo-Guerrero, Z. H., Cadenas-Pliego, G., Ortega-Ortiz, H., González-Morales, S., Benavides-Mendoza, A., Valdés-Reyna, J., & Juárez-Maldonado, A. 2020. Form of silica improves yield, fruit quality and antioxidant defense system of tomato plants under salt stress. *Agriculture (Switzerland)*, 10(9), 1–21. <https://doi.org/10.3390/agriculture10090367>
- Raliya, R., Nair, R., Chavalmane, S., Wang, W.-N., & Biswas, P. 2015. Mechanistic evaluation of translocation and physiological impact of titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles on the tomato (*Solanum lycopersicum L.*) plant. *Metallomics*, 7(12), 1584–1594. <https://doi.org/10.1039/C5MT00168D>
- Raliya, R., & Tarafdar, J. C. 2013. ZnO Nanoparticle Biosynthesis and Its Effect on Phosphorous-Mobilizing Enzyme Secretion and Gum Contents in Clusterbean (*Cyamopsis tetragonoloba L.*). *Agricultural Research*, 2(1), 48–57. <https://doi.org/10.1007/s40003-012-0049-z>
- Rizwan, M., Ali, S., Ali, B., Adrees, M., Arshad, M., Hussain, A., Zia ur Rehman, M., & Waris, A. A. 2019. Zinc and iron oxide nanoparticles improved the plant growth and reduced the oxidative stress and cadmium concentration in wheat. *Chemosphere*, 214, 269–277. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.09.120>
- Sadeghzadeh, B., & Rengel, Z. 2011. Zinc in Soils and Crop Nutrition. *The Molecular and Physiological Basis of Nutrient Use Efficiency in Crops*, 335–375. <https://doi.org/10.1002/9780470960707.ch16>

- Santoso, H. Ardiansyah, M. 2019. Pengaruh ketinggian tempat dan iklim terhadap pertumbuhan tomat. *Jurnal Agroklimat*, 10(1), 22–30.
- Sari, N. 2023. Fungsi fosfor dan kalsium dalam pertumbuhan tomat. *Jurnal Hortikultura Indonesia*, 12(1), 34–40.
- Sharma, A., Patni, B., Shankhdhar, D., & Shankhdhar, S. C. 2013. Zinc – An Indispensable Micronutrient. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 19(1), 11–20. <https://doi.org/10.1007/s12298-012-0139-1>
- Siburian, I. S., Suntari, R., & Prijono, S. 2017. Pengaruh Aplikasi Urea dan Pupuk Organik Cair (Urin Sapi dan Teh Kompos Sampah) terhadap Serapan N Serta Produksi Sawi pada Entisol. (*JTSL*) *Jurnal Tanah Dan ...*, 3(1), 303–310. <https://jtsl.ub.ac.id/index.php/jtsl/article/view/142>
- Siddiqui, M. H., & Al-Whaibi, M. H. 2014. Role of nano-SiO₂ in germination of tomato (*Lycopersicum esculentum* seeds Mill.). *Saudi Journal of Biological Sciences*, 21(1), 13–17. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2013.04.005>
- Wahyuni, L., Maulana, D., Putri, F. 2021. Sifat fisik dan kimia tanah ideal untuk tanaman hortikultura. *Jurnal Tanah Tropika*, 18(3), 78–87.
- Wales, B.; Rohim, A.; Yuliani, S. 2023. Kebutuhan hara makro dan mikro tanaman tomat. *Jurnal Agronomi Modern*, 9(2), 67–74.
- Włodarczyk, K., Smolińska, B., & Majak, I. 2024. How Nano-ZnO Affect Tomato Fruits (*Solanum lycopersicum* L.)? Analysis of Selected Fruit Parameters. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(15). <https://doi.org/10.3390/ijms25158522>
- Yati, R., & Siregar, T. M. 2015. Kandungan Gizi pada Buah Tomat. *Jurnal Gizi Dan Pangan*, 3(2), 101–106.
- Yudita, M.; Sari, L.; Hermanto, J. 2022. Pengaruh defisiensi boron terhadap produksi buah tomat. *Jurnal Hortikultura Terapan*, 8(1), 23–30.
- Zörb, C., Senbayram, M., & Peiter, E. 2014. Potassium in agriculture - Status and perspectives. *Journal of Plant Physiology*, 171(9), 656–669. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2013.08.008>