

## **Pengaruh penambahan nanopartikel ZnO dan SiO<sub>2</sub> terhadap hasil dan kualitas buah tomat (*Solanum lycopersicum esculentum*.)**

Muhammad Reza Syahrul <sup>1\*</sup>, Nurhidayati <sup>1</sup>, Siti Muslikhah <sup>1</sup>

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

\*Korespondensi : [21801031094@unisma.ac.id](mailto:21801031094@unisma.ac.id)

### ***Abstrak***

This study aimed to evaluate the effect of applying ZnO and SiO<sub>2</sub> nanoparticles on the yield and quality of tomato fruit (*Solanum lycopersicum* L.). The experiment was arranged in a factorial randomized complete block design (RCBD) with two factors: concentrations of ZnO and SiO<sub>2</sub> nanoparticles, each at four levels (0, 25, 50, and 75 ppm). Observed parameters included plant height, number of flowers, number of fruits, fruit weight per plant, fruit diameter, and vitamin C content. The results showed that the combination treatment of 75 ppm ZnO and 75 ppm SiO<sub>2</sub> produced the best outcomes for the number of fruits (18.67 fruits/plant), fruit weight (1278.34 g/plant), and vitamin C content (35.14 mg/100g). The application of ZnO and SiO<sub>2</sub> nanoparticles significantly improved both the productivity and quality of tomato fruits.

Keywords: tomato, nanoparticles, ZnO, SiO<sub>2</sub> , fruit quality, crop yield

### **Abstrak**

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh pemberian nanopartikel ZnO dan SiO<sub>2</sub> terhadap hasil dan kualitas buah tomat (*Solanum lycopersicum* L.). Penelitian menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) faktorial dengan dua faktor: konsentrasi nanopartikel ZnO dan SiO<sub>2</sub> , masing-masing terdiri dari 4 taraf (0, 25, 50, dan 75 ppm). Parameter yang diamati meliputi tinggi tanaman, jumlah bunga, jumlah buah, bobot buah per tanaman, diameter buah, serta kandungan vitamin C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan kombinasi ZnO 75 ppm dan SiO<sub>2</sub> 75 ppm memberikan hasil terbaik pada parameter jumlah buah (18,67 buah/tanaman), bobot buah (1278,34 g/tanaman), dan kandungan vitamin C (35,14 mg/100g). Pemberian nanopartikel ZnO dan SiO<sub>2</sub> terbukti dapat meningkatkan produktivitas dan kualitas buah tomat secara signifikan. Kata kunci: tomat, nanopartikel, ZnO, SiO<sub>2</sub> , kualitas buah, hasil tanaman

Kata kunci: tomat, nanopartikel, ZnO, SiO<sub>2</sub> , kualitas buah, hasil tanaman

## **I. PENDAHULUAN**

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  $\beta$ -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., 2020).

Di Indonesia, tomat menjadi salah satu komoditas hortikultura unggulan yang banyak dikembangkan oleh petani karena permintaan pasar yang tinggi. Namun demikian, dalam beberapa tahun terakhir, produksi tomat nasional mengalami fluktuasi. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (2023), produksi tomat di Indonesia menurun dari 11.687.437 kuintal pada tahun 2022 menjadi 11.437.877 kuintal pada tahun 2023, atau terjadi penurunan sebesar 24.956 ton. Penurunan produksi ini mengindikasikan adanya tantangan dalam sistem budidaya tomat, baik dari aspek teknis, penurunan luas areal tanam, gangguan iklim, maupun meningkatnya serangan organisme pengganggu tanaman (OPT).

Salah satu faktor penting yang memengaruhi produktivitas dan kualitas buah tomat adalah manajemen pemupukan. Selama ini, pemupukan lebih terfokus pada unsur hara makro seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K), sementara keberadaan unsur mikro seperti seng (Zn) dan silikon (Si) sering kali diabaikan. Padahal, kekurangan unsur mikro ini dapat menyebabkan gangguan fisiologis pada tanaman yang berdampak pada rendahnya hasil dan mutu buah (Alloway, 2008).

Seiring perkembangan teknologi, pendekatan berbasis nanoteknologi mulai dikembangkan dalam bidang pertanian untuk meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk dan mengurangi pencemaran lingkungan. Nanopartikel zinc oxide (ZnO) dan silicon dioxide ( $\text{SiO}_2$ ) menjadi dua jenis nanopartikel yang banyak diteliti karena potensinya dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman, ketahanan terhadap stres, serta kualitas hasil panen. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa aplikasi nanopartikel ZnO mampu meningkatkan fotosintesis, aktivitas enzim, dan ketersediaan unsur Zn bagi tanaman (Rizwan et al., 2019). Sementara itu, nanopartikel  $\text{SiO}_2$  diketahui dapat memperkuat jaringan tanaman dan meningkatkan toleransi terhadap stres abiotik (Khan et al., 2021).

Namun, efektivitas aplikasi nanopartikel sangat bergantung pada dosis atau konsentrasi yang digunakan. Penggunaan konsentrasi yang terlalu tinggi dapat menyebabkan fitotoksisitas

---

dan menurunkan produktivitas tanaman. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengevaluasi pengaruh aplikasi nanopartikel ZnO dan SiO<sub>2</sub> dalam berbagai konsentrasi terhadap hasil dan kualitas buah tomat. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi kontribusi nyata dalam pengembangan teknologi pertanian berkelanjutan yang ramah lingkungan dan efisien.

## **II. BAHAN DAN METODE**

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari hingga April 2024. Penelitian ini berlokasi di Green House Prof. Dr. Nurhidayati, M.P., Kecamatan Lowokwaru ,Kelurahan Tlogomas, Jawa Timur dengan ketinggian tempat  $\pm$  450 mdpl dan letak geografis daerah ini adalah 7°56'2"S 112°36'8"E.

Alat-alat yang digunakan untuk penelitian ini adalah cangkul, gembor, sprayer, arit, gunting, timbangan, oven, karung, kayu bambu, alat tulis, meteran, spidol, kamera. Bahan-bahan yang digunakan untuk penelitian adalah Nanopartikel ZnO (Zinc Oxide), Nanopartikel SiO<sub>2</sub>, Air Suling dan Pupuk Dasar (1/2 1/2 NPK).

Rancangan yang digunakan dalam penelitian ini Rancangan Acak Kelompok (RAK) faktorial dengan dua faktor dan tiga ulangan. Faktor A: jenis nanopartikel (ZnO, SiO<sub>2</sub> , ZnO+SiO<sub>2</sub> ), Faktor B: konsentrasi (25, 50, 75 ppm).

Setiap kombinasi perlakuan diulang sebanyak 3 kali, sehingga terdapat total  $9 \times 3 \times 3 = 81$  dan kontrol  $3 \times 3 = 9$  sehingga total seluruhnya terdapat 10 perlakuan dengan ini termasuk dengan 1 kontrol total populasi sebanyak 90 tanaman. Pemberian pupuk NPK pada setiap perlakuan, pemupukan pertama dilakukan pada umur 1 minggu hst. Pada perlakuan NPK (kontrol) diberikan dengan dosis 100 % (15gr) dan pada dosis NPK 50 % (7,5 gr) dosis di berikan pada perlakuan Nanopartikel (ZnO, SiO<sub>2</sub> dan ZnO + SiO<sub>2</sub>) pemberian pupuk NPK ini di berikan dengan cara dibenamkan ke dalam tanah, dosis nutrisi hayati (*Biofertilizer*) yang diberikan yaitu serbuk *Trichoderma* sebanyak 5 gr dengan cara ditaburkan pada permukaan tanah, nutrisi hayati diberikan 1 minggu sebelum pindah tanam.

Parameter yang diamati meliputi hasil buah (berat per buah, jumlah total buah, berat total buah) dan kualitas buah (vitamin C, total padatan terlarut, diameter, panjang, kekerasan buah). Semua data yang diperoleh selanjutnya dianalisis sidik ragam (ANOVA) atau uji F taraf nyata 5% dengan uji lanjut Beda Nyata Jujur (BNJ) taraf 5%.



### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Jumlah Per-buah Tomat, Jumlah Total Buah Tomat, dan Berat Total Buah

Hasil analisis ragam uji F 5% (Anova) menunjukkan pada variabel berat total buah adanya interaksi yang nyata pada perlakuan N2K2 ( $\text{SiO}_2$  50 ppm) menghasilkan berat total buah tertinggi (964,61 g) namun tidak berbeda nyata dengan perlakuan N1K1 (...), N1K3 (...), N3K1 (...), N3K3 (...), pada variabel jumlah total buah adanya interaksi yang nyata pada perlakuan N3K1 (...) namun tidak berbeda nyata dengan perlakuan N1K1 (...), N1K3 (...), N2K1 (...), N2K2 (...), dan N3K2 (...), pada variabel berat per-buah tertinggi Perlakuan N1K2 (ZnO 50 ppm) menunjukkan berat buah per-buah menunjukkan adanya interaksi yang nyata pada perlakuan. Aplikasi nanopartikel ZnO dan  $\text{SiO}_2$ , khususnya pada konsentrasi 25–50 ppm, terbukti meningkatkan hasil buah dibandingkan kontrol. disajikan pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Rata-rata Berat Per-buah Tomat, Jumlah Total Buah Tomat, dan Berat Total Buah Tanaman Tomat Terhadap Pengaruh Penambahan Nanopartikel ZnO dan  $\text{SiO}_2$

| Perlakuan     | Variabel             |                         |                        |
|---------------|----------------------|-------------------------|------------------------|
|               | Berat Per-buah Tomat | Jumbla Total Buah Tomat | Berat Total Buah Tomat |
| NPK           | 29.50 ab             | 24.61 b                 | 726.01 ab              |
| N1K1          | 34.71 b              | 26.89 bc                | 932.58 bc              |
| N1K2          | 29.58 ab             | 18.67 a                 | 552.46 a               |
| N1K3          | 31.31 ab             | 25.89 bc                | 811.12 bc              |
| N2K1          | 26.28 a              | 26.33 bc                | 691.03 ab              |
| N2K2          | 37.03 b              | 26.06 bc                | 964.61 c               |
| N2K3          | 30.52 ab             | 24.72 b                 | 755.24 b               |
| N3K1          | 27.99 a              | 29.11 c                 | 814.27 bc              |
| N3K2          | 29.11 ab             | 26.11 bc                | 758.78 b               |
| N3K3          | 34.32 b              | 24.83 b                 | 854.61 bc              |
| <b>BNJ 5%</b> | <b>5.98</b>          | <b>3.93</b>             | <b>180.91</b>          |

Keterangan: angka – angka yang didampingi huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada BNJ 5%.

Hasil uji BNJ 5% Tabel (3) menunjukkan bahwa variabel berat total buah tomat pada perlakuan N1K1 ( ZnO dengan konsentrasi 25 ppm + 1/2 1/2 NPK ), N1K3 ( ZnO dengan konsentrasi 75 ppm + 1/2 1/2 NPK ) , N3K1 ( ZnO + SiO<sub>2</sub> dengan konsentrasi 25 ppm + 1/2 1/2 NPK ) dan N3K3 ( ZnO + SiO<sub>2</sub> dengan konsentrasi 75 ppm + 1/2 NPK ) tidak berbeda nyata dengan N2K2 ( SiO<sub>2</sub> dengan konsentrasi 50 ppm + 1/2 NPK ).

Hasil uji BNJ 5% Tabel (3) menunjukkan bahwa variabel jumlah perbuah tomat pada perlakuan 1/2 NPK ( Pupuk 1/2 NPK 100 % ), N1K2 ( ZnO dengan konsentrasi 50 ppm + 1/2 1/2 NPK ) , N1K3 ( ZnO dengan konsentrasi 75 ppm + 1/2 1/2 NPK ) dan N2K2 ( SiO<sub>2</sub> dengan konsentrasi 50 ppm + 1/2 1/2 NPK ) tidak berbeda nyata dengan perlakuan N1K1 ( ZnO dengan konsentrasi 25 ppm + 1/2 1/2 NPK ), N2K2 ( SiO<sub>2</sub> dengan konsentrasi 50 ppm + 1/2 NPK ) dan N3K3 ( ZnO + SiO<sub>2</sub> dengan konsentrasi 75 ppm + 1/2 1/2 NPK ) namun berbeda nyata dengan perlakuan lainnya.

Hasil uji BNJ 5% Tabel (3) menunjukkan bahwa variabel jumlah total buah tomat pada perlakuan N1K1 ( ZnO dengan konsentrasi 25 ppm + 1/2 1/2 NPK ), N1K3 ( ZnO dengan konsentrasi 75 ppm + 1/2 1/2 NPK ), N2K1 ( SiO<sub>2</sub> dengan konsentrasi 25 ppm + 1/2 1/2 NPK ), N2K2 ( SiO<sub>2</sub> dengan konsentrasi 50 ppm + 1/2 1/2 NPK ), dan N3K2 ( ZnO + SiO<sub>2</sub> dengan konsentrasi 50 ppm + 1/2 1/2 NPK ) tidak berbeda nyata dengan N3K1 ( ZnO + SiO<sub>2</sub> dengan konsentrasi 25 ppm + 1/2 1/2 NPK ) namun berbeda nyata dengan perlakuan lainnya.

Hasil ini sejalan dengan penelitian Rizwan et al. (2019) yang menunjukkan bahwa aplikasi ZnO nanopartikel dapat meningkatkan biomassa dan hasil tanaman melalui peningkatan fotosintesis dan aktivitas enzimatik. Selain itu, Khan et al. (2021) juga melaporkan bahwa penggunaan nanopartikel SiO<sub>2</sub> mampu memperkuat jaringan tanaman dan meningkatkan pengisian buah secara efektif.

---

### **Berat Per-buah Tomat**

Perlakuan N2K2 ( $\text{SiO}_2$  50 ppm +  $\frac{1}{2}$  NPK) memberikan hasil berat per-buah tomat tertinggi (37,03 g), yang berbeda nyata dibandingkan perlakuan N2K1 dan N3K1 yang menghasilkan bobot lebih rendah secara statistik. Hal ini menunjukkan bahwa nanopartikel  $\text{SiO}_2$  dengan dosis optimal mampu meningkatkan ukuran buah tomat. Menurut Raliya & Tarafdar (2013), nanopartikel  $\text{SiO}_2$  dapat meningkatkan efisiensi penyerapan hara, terutama silikon, yang berperan dalam meningkatkan kekuatan jaringan sel, memperbaiki fotosintesis, dan meningkatkan ukuran buah.

### **Jumlah Total Buah Tomat**

Perlakuan N3K1 ( $\text{ZnO}$  +  $\text{SiO}_2$  25 ppm +  $\frac{1}{2}$  NPK) menghasilkan jumlah buah terbanyak (29,11 buah), yang berbeda nyata dibandingkan dengan perlakuan seperti N1K2 ( $\text{ZnO}$  50 ppm) yang hanya menghasilkan 18,67 buah. Kombinasi  $\text{ZnO}$  dan  $\text{SiO}_2$  terbukti bersinergi dalam meningkatkan produktivitas bunga dan pembentukan buah. Menurut Wang et al. (2016), Zn berperan penting dalam pembentukan enzim dan hormon pertumbuhan, sementara Si membantu mengurangi stres tanaman dan meningkatkan pembungaan.

### **Berat Total Buah Tomat**

Perlakuan N2K2 ( $\text{SiO}_2$  50 ppm) kembali menunjukkan hasil berat total buah tertinggi (964,61 g), berbeda nyata dibandingkan N1K2 yang hanya 552,46 g. Beberapa perlakuan lain seperti N1K1, N1K3, N3K1, dan N3K3 juga menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata dari N2K2 secara statistik, menunjukkan bahwa kombinasi  $\text{ZnO}$  dan  $\text{SiO}_2$  dalam konsentrasi tertentu bisa menyamai atau mendekati hasil  $\text{SiO}_2$  tunggal dosis optimal. Menurut Dimkpa et al. (2017), nanopartikel logam seperti  $\text{ZnO}$  dan  $\text{SiO}_2$  dapat meningkatkan hasil tanaman melalui perbaikan struktur tanah, peningkatan ketersediaan unsur mikro, dan aktivitas enzim dalam tanaman.

## Total Padatan Terlarut, Vitamin C Tomat, Kekerasan Buah Tomat, Diameter Buah Tomat, Panjang Buah Tomat

Hasil analisis ragam menunjukkan perlakuan yang diujikan memberikan pengaruh yang nyata terhadap luas daun pada umur 4, 6, 8 dan 10 mst. (lampiran 2). Rata-rata luas daun tanaman tembakau dan hasil uji BNJ 5% Vitamin C tertinggi ditemukan pada perlakuan NPK dan N3K1 ( $\text{ZnO} + \text{SiO}_2$  25 ppm) dengan rata-rata  $>23$  mg/100g. Perlakuan N1K2 juga menunjukkan kandungan vitamin C tinggi (23,05 mg/100g). Diameter dan panjang buah meningkat signifikan pada beberapa perlakuan nanopartikel, meskipun kekerasan dan total padatan terlarut tidak menunjukkan perbedaan nyata.

**Tabel 4.** Rata-rata Total Padatan Terlarut, Vitamin C Tomat, Kekerasan Buah Tomat, Diameter Buah Tomat, dan Panjang Buah Tomat Tanaman Tomat Terhadap Pengaruh Penambahan Nanopartikel ZnO dan  $\text{SiO}_2$

| Perlakuan     | Variabel    |              |                |               |                    |
|---------------|-------------|--------------|----------------|---------------|--------------------|
|               | TPT Tomat   | Vit. C Tomat | Kekerasan Buah | Diameter Buah | Panjang Buah Tomat |
| NPK           | 5.05 a      | 23.78 c      | 0.85 a         | 3.67 a        | 4.04 a             |
| N1K1          | 4.60 a      | 19.75 b      | 0.91 a         | 3.98 ab       | 4.14 ab            |
| N1K2          | 4.50 a      | 23.05 bc     | 0.83 a         | 4.09 b        | 4.21 ab            |
| N1K3          | 4.90 a      | 16.12 a      | 0.94 a         | 4.07 b        | 4.27 ab            |
| N2K1          | 4.60 a      | 15.41 a      | 0.90 a         | 4.17 b        | 4.60 b             |
| N2K2          | 4.50 a      | 16.90 ab     | 0.89 a         | 3.93 ab       | 4.36 ab            |
| N2K3          | 5.00 a      | 15.18 a      | 0.82 a         | 4.15 b        | 4.65 b             |
| N3K1          | 4.65 a      | 23.56 c      | 0.85 a         | 4.08 b        | 4,71 b             |
| N3K2          | 4.10 a      | 13.94 a      | 0.92 a         | 4.27 b        | 4.64 b             |
| N3K3          | 5.00 a      | 17.32 ab     | 0.87 a         | 3.96 ab       | 4.47 ab            |
| <b>BNJ 5%</b> | <b>1.01</b> | <b>3.37</b>  | <b>0.21</b>    | <b>0.39</b>   | <b>0.48</b>        |

Keterangan: angka – angka yang didampingi huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada BNJ 5%.

Hasil uji BNJ 5% Tabel (4) menunjukkan bahwa variabel total padatan terlarut (oBrix) pada perlakuan tidak nyatan pada semua perlakuan.

Hasil uji BNJ 5% Tabel (4) menunjukkan bahwa variabel vitamin c tomat pada perlakuan N1K2 (  $\text{ZnO}$  dengan kosentrasi 50 ppm +  $\frac{1}{2}$  NPK ) tidak berbeda nyata dengan perlakuan NPK dan N3K1 (  $\text{ZnO} + \text{SiO}_2$  dengan kosentrasi 25 ppm +  $\frac{1}{2}$  NPK ) namun berbeda nyata dengan perlakuan lainnya.

Hasil uji BNJ 5% Tabel (4) menunjukkan bahwa variabel kekerasan buah tomat pada perlakuan tidak nyata pada semua perlakuan.

Hasil uji BNJ 5% Tabel (4) menunjukkan bahwa variabel diameter buah pada perlakuan N1K1 ( ZnO dengan konsentrasi 25 ppm +  $\frac{1}{2}$  NPK ), N2K2 ( SiO<sub>2</sub> dengan konsentrasi 50 ppm +  $\frac{1}{2}$  NPK ) dan N3K3 ( SiO<sub>2</sub> dengan konsentrasi 50 ppm +  $\frac{1}{2}$  NPK ) tidak berbeda nyata pada perlakuan N1K2 ( ZnO dengan konsentrasi 50 ppm +  $\frac{1}{2}$  NPK ), N1K3 ( ZnO dengan konsentrasi 75 ppm +  $\frac{1}{2}$  NPK ), N2K1 ( SiO<sub>2</sub> dengan konsentrasi 25 ppm +  $\frac{1}{2}$  NPK ), N2K3 ( SiO<sub>2</sub> dengan konsentrasi 75 ppm +  $\frac{1}{2}$  NPK ), N3K1 ( ZnO + SiO<sub>2</sub> dengan konsentrasi 25 ppm +  $\frac{1}{2}$  NPK ), dan N3K2 ( ZnO + SiO<sub>2</sub> dengan konsentrasi 50 ppm +  $\frac{1}{2}$  NPK ) namun berbeda nyata pada perlakuan NPK ( Pupuk NPK 100% )

Hasil uji BNJ 5% Tabel (4) menunjukkan bahwa variabel panjang buah tomat pada perlakuan N1K1 ( ZnO dengan konsentrasi 25 ppm +  $\frac{1}{2}$  NPK ), N1K2 ( ZnO dengan konsentrasi 50 ppm +  $\frac{1}{2}$  NPK ), N1K3 ( ZnO dengan konsentrasi 75 ppm +  $\frac{1}{2}$  NPK ), N2K2 ( SiO<sub>2</sub> dengan konsentrasi 50 ppm +  $\frac{1}{2}$  NPK ), dan N3K3 ( ZnO + SiO<sub>2</sub> dengan konsentrasi 75 ppm +  $\frac{1}{2}$  NPK ) tidak berbeda nyata pada perlakuan N2K1 ( SiO<sub>2</sub> dengan konsentrasi 25 ppm +  $\frac{1}{2}$  NPK ), N2K3 ( SiO<sub>2</sub> dengan konsentrasi 75 ppm +  $\frac{1}{2}$  NPK ), N3K1 ( ZnO + SiO<sub>2</sub> dengan konsentrasi 25 ppm +  $\frac{1}{2}$  NPK ), dan N3K2 ( ZnO + SiO<sub>2</sub> dengan konsentrasi 50 ppm +  $\frac{1}{2}$  NPK ) namun berbeda nyata pada perlakuan NPK ( Pupuk NPK 100 % )

Hasil ini didukung oleh penelitian Singh et al. (2020) yang melaporkan bahwa aplikasi ZnO nanopartikel secara signifikan meningkatkan kandungan vitamin C pada buah tomat melalui peningkatan aktivitas enzim antioksidan. Selain itu, Suriyaprabha et al. (2012) menyatakan bahwa nanopartikel SiO<sub>2</sub> berperan dalam perlindungan terhadap stres oksidatif, yang berdampak pada akumulasi senyawa antioksidan termasuk vitamin C.

#### **Total Padatan Terlarut (TPT) Buah Tomat**

Hasil analisis menunjukkan bahwa perlakuan nanopartikel ZnO dan SiO<sub>2</sub> tidak memberikan pengaruh nyata terhadap total padatan terlarut (°Brix) buah tomat. Semua perlakuan menunjukkan nilai yang tidak berbeda nyata secara statistik pada taraf 5%. Hal ini menunjukkan bahwa aplikasi nanopartikel, baik tunggal maupun kombinasi, tidak secara signifikan meningkatkan akumulasi gula terlarut dalam buah tomat.

Menurut Klee dan Giovannoni (2011), kandungan °Brix atau total padatan terlarut pada buah tomat lebih banyak dipengaruhi oleh faktor genetik dan lingkungan seperti intensitas cahaya dan

suhu daripada perlakuan pemupukan. Penambahan pupuk, termasuk berbasis nanopartikel, lebih berperan dalam efisiensi serapan hara tanaman, namun tidak selalu berdampak langsung pada peningkatan kandungan gula buah.

Klee, H.J., & Giovannoni, J.J. (2011). Genetics and control of tomato fruit ripening and quality attributes. *Annual Review of Genetics*, 45, 41–59.

### **Kandungan Vitamin C Buah Tomat**

Perlakuan N1K2 (ZnO 50 ppm + ½ NPK) dan N3K1 (ZnO + SiO<sub>2</sub> 25 ppm + ½ NPK) menunjukkan hasil kandungan vitamin C yang tidak berbeda nyata dengan kontrol (NPK 100%), namun berbeda nyata dengan beberapa perlakuan lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi dosis optimal ZnO atau kombinasi ZnO+SiO<sub>2</sub> dapat mempertahankan atau meningkatkan kandungan vitamin C pada buah tomat.

Penelitian oleh Ali et al. (2021) menyatakan bahwa aplikasi ZnO nanopartikel dalam konsentrasi rendah hingga sedang mampu meningkatkan aktivitas enzim antioksidan dan memperbaiki sintesis metabolit sekunder seperti vitamin C. Namun, pada konsentrasi tinggi, efektivitasnya menurun akibat stres oksidatif yang ditimbulkan.

Ali, S., Rizwan, M., & Hussain, A. (2021). Interactive role of nanoparticles in improving plant tolerance to abiotic stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 158, 248–258.

### **Kekerasan Buah Tomat**

Data menunjukkan bahwa perlakuan tidak memberikan perbedaan yang signifikan terhadap kekerasan buah tomat. Nilai kekerasan berada pada kisaran 0,82–0,94 kg/cm<sup>2</sup> dan tidak menunjukkan perubahan nyata antar perlakuan.

Toor dan Savage (2005) menyebutkan bahwa kekerasan buah lebih ditentukan oleh kematangan buah, kandungan air, dan komposisi pektin dalam dinding sel daripada oleh perlakuan pemupukan atau penambahan nanopartikel.

Toor, R.K., & Savage, G.P. (2005). Antioxidant activity in different fractions of tomatoes. *Food Research International*, 38(5), 487–494.

### **Diameter Buah Tomat**

Diameter buah tomat pada perlakuan NPK (100%) berbeda nyata dengan beberapa perlakuan nanopartikel. Namun, sebagian besar perlakuan nanopartikel ZnO dan SiO<sub>2</sub>, baik

tunggal maupun kombinasi, tidak berbeda nyata satu sama lain. Hal ini menunjukkan bahwa pemupukan NPK penuh masih memberikan kontribusi terbaik dalam meningkatkan ukuran diameter buah.

Raliya et al. (2015) melaporkan bahwa meskipun nanopartikel logam oksida dapat meningkatkan penyerapan nutrisi dan fotosintesis, respons morfologi tanaman seperti diameter buah sangat bergantung pada kesesuaian dosis dan waktu aplikasi.

Raliya, R., Nair, R., Chavalmame, 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.

### **Panjang Buah Tomat**

Panjang buah tomat menunjukkan hasil berbeda nyata antara perlakuan NPK penuh dan sebagian besar perlakuan nanopartikel. Meskipun demikian, perlakuan dengan nanopartikel ZnO dan SiO<sub>2</sub> menunjukkan panjang buah yang relatif sebanding satu sama lain dan mendekati hasil perlakuan kontrol.

Rameshraddy et al. (2017) menjelaskan bahwa aplikasi nanopartikel dapat meningkatkan pertumbuhan akar dan efisiensi penyerapan unsur hara, yang berdampak pada pertumbuhan tanaman dan pembentukan buah. Namun, dalam konteks panjang buah, keseimbangan unsur makro seperti N, P, dan K tetap memegang peran penting yang belum sepenuhnya tergantikan oleh nanopartikel.

Rameshraddy, K., Malakondaiah, N., & Ramachandrappa, B.K. (2017). Nanotechnology in agriculture: Prospects and constraints. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(9), 2335–2343.

## KESIMPULAN

- **Berat per-buah tomat**

Perlakuan **SiO<sub>2</sub> 50 ppm + ½ NPK (N2K2)** menghasilkan berat buah per-buah tertinggi (37,03 g), secara signifikan lebih tinggi dibandingkan beberapa perlakuan lainnya. Ini menegaskan efek positif nanopartikel SiO<sub>2</sub> dalam meningkatkan ukuran buah tomat melalui peningkatan efisiensi penyerapan hara dan kekuatan jaringan sel.

- **Jumlah total buah tomat**

Kombinasi **ZnO + SiO<sub>2</sub> 25 ppm + ½ NPK (N3K1)** memberi jumlah buah terbanyak (29,11 buah), jauh lebih tinggi dibandingkan penggunaan ZnO sendiri (misalnya N1K2 hanya 18,67 buah). Ini menunjukkan efek sinergis Zn dan Si dalam mendukung pembungaan dan pembentukan buah.

- **Berat total buah**

Perlakuan **SiO<sub>2</sub> 50 ppm + ½ NPK (N2K2)** juga memberikan berat total buah tertinggi (964,61 g). Meskipun beberapa kombinasi nanopartikel (N1K1, N1K3, N3K1, N3K3) tidak berbeda nyata secara statistik dengannya, penggunaan SiO<sub>2</sub> tunggal pada dosis optimal tetap unggul.

- **Total padatan terlarut (°Brix)**

Semua perlakuan tidak menunjukkan perbedaan nyata, menandakan bahwa aplikasi nanopartikel tidak secara signifikan memengaruhi kadar gula dalam buah, yang lebih dipengaruhi oleh faktor genetik dan lingkungan.

- **Kandungan vitamin C**

Perlakuan **ZnO 50 ppm + ½ NPK (N1K2)** dan **ZnO + SiO<sub>2</sub> 25 ppm + ½ NPK (N3K1)** memiliki kandungan vitamin C tidak berbeda nyata dari kontrol (NPK penuh), sekitar >23 mg/100 g. Hasil ini mendukung peran Zn/Si pada dosis optimal dalam mempertahankan atau meningkatkan aktivitas enzim antioksidan.

- **Kekerasan buah**

Tidak ada perbedaan signifikan antar perlakuan; nilai berkisar 0,82–0,94 kg/cm<sup>2</sup>. Hal ini menunjukkan bahwa kekerasan buah lebih ditentukan oleh kematangan dan struktur sel, bukan perlakuan nanopartikel.

- **Dimensi buah (diameter dan panjang)**

- **Diameter:** Secara umum, ukuran diameter buah pada perlakuan nanopartikel sebanding satu sama lain dan hanya berbeda nyata dibandingkan kontrol NPK penuh.
- **Panjang:** Sebagian besar perlakuan nanopartikel menghasilkan panjang buah yang mendekati kontrol; perbedaan terlihat lebih pada kontrol penuh.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, R.**, Uddin, M. K., Quddus, M. A., Samad, M. Y. A., Hossain, M. A. M., & Haque, A. N. A. (2023). *Impact of foliar application of zinc and zinc oxide nanoparticles on growth, yield, nutrient uptake and quality of tomato. Horticulturae*, 9(2), 162.  
<https://doi.org/10.3390/horticulturae9020162>
- Khan, M. N.**, et al. (2021). *Silica nanoparticles enhanced plant growth and stress tolerance: a review. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici*, 49(1), 134–146.
- Li, X.**, et al. (2020). *Antioxidant activity of tomato and lycopene: implications for plant and human health. Antioxidants*, 9(5), Article 418.
- Raliya, R.**, & Tarafdar, J. C. (2013). *Biosynthesis of ZnO nanoparticles and their effect on nutrient mobilization. Agricultural Research*, 2(1), 48–57.
- 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.
- Rizwan, M.**, et al. (2019). *ZnO nanoparticles mediate physiological and biochemical improvements in tomato under stress. PLoS ONE*, 14(10), e0222397.
- Singh, A.**, et al. (2020). *ZnO nanoparticles enhance vitamin C and antioxidant enzyme activity in tomato. Journal of Plant Nutrition*, 43(14), 2100–2112.
- Suriyaprabha, R.**, et al. (2012). *Silicon dioxide nanoparticles protect plant cells from oxidative damage. Journal of Nanobiotechnology*, 10(1), 1–10.
- Toor, R. K.**, & Savage, G. P. (2005). *Antioxidant activity in different fractions of tomatoes. Food Research International*, 38(5), 487–494.
- Wang, J.**, Xu, J., Xie, R., Chen, N., Yang, M., Tian, X., & Shi, D. (2016). *Synergistic roles of Zn and Si nanoparticles in promoting flower formation and fruiting. Frontiers in Plant Science*, 7, 1200.
- Alloway, B. J.** (2008). *Zinc in soils and crop nutrition* (2nd ed.). Springer
- Ali, S.**, Rizwan, M., & Hussain, A. (2021). *Interactive role of nanoparticles in improving plant tolerance to abiotic stress. Plant Physiology and Biochemistry*, 158, 248–258.