

Furqoni. 2025

EFEKTIVITAS AGRONOMIS DAN EKONOMI PUPUK MIKRO Zn, Cu, B TERHADAP PERTUMBUHAN DAN HASIL TANAMAN TOMAT (*Solanum lycopersicum*)

Hafith Furqoni

Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Jalan Meranti, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680, hafithfurqoni@apps.ipb.ac.id

*Corresponding author: hafithfurqoni@apps.ipb.ac.id

* Received for review September 18, 2025 Accepted for publication October 15, 2025

Abstract

Micronutrient fertilizers containing zinc (Zn), copper (Cu), and boron (B) play an important role in supporting the growth and yield of tomato plants. This study aimed to evaluate the agronomic and economic effectiveness of micronutrient fertilizer application on tomato growth, yield, and farming feasibility. The experiment was conducted with six treatment levels of micronutrient fertilizer doses (0, 0.5, 0.75, 1.0, 1.25, and 1.5 doses). The study used a randomized complete block design. Data were statistically analyzed using analysis of variance and the Duncan Multiple Range Test (DMRT) at a 5% significance level. Farming analysis was conducted using economic calculations with profit and R/C ratio as variables. The results showed that micronutrient fertilizer application significantly affected plant height, number of branches, and number of flower clusters, as well as yield components such as number of fruits per plant, fruit weight, and total yield per plant, plot, and hectare. The 1.0 dose treatment showed the best results with 125.8 fruits per plant, a yield of 2,346.5 g per plant, and 15.79 tons per hectare. Agronomic effectiveness was measured using the relative agronomic effectiveness (RAE) value, where the 1.0 dose treatment showed the highest value of 199%, indicating a 1.99-fold increase in yield compared to the control. Economically, this treatment also resulted in the highest profit of Rp14,075,000 with the highest R/C ratio. These results indicate that Zn, Cu, and B micronutrient fertilizers are not only effective in increasing tomato productivity but also economically feasible for implementation in tomato farming.

Keywords: Agronomic Effectiveness, Economic Feasibility, Relative Agronomic Effectiveness (RAE), R/C Ratio, Yield Components

Abstrak

Unsur hara mikro seperti seng (Zn), tembaga (Cu), dan boron (B) berperan krusial dalam menunjang pertumbuhan serta produktivitas tanaman tomat. Penelitian ini dilakukan untuk menilai efektivitas agronomis dan aspek ekonomi dari pemberian pupuk mikro terhadap pertumbuhan, hasil panen, dan kelayakan usaha tani tomat. Percobaan dilakukan dengan enam perlakuan dosis pupuk mikro (0, 0.5, 0.75, 1.0, 1.25 dan 1.5 dosis). Penelitian menggunakan rancangan acak kelompok. Data diolah secara statistik melalui analisis ragam, dilanjutkan dengan uji Duncan Multiple Range Test (DMRT) pada tingkat signifikansi 5%. Evaluasi usahatani dilakukan menggunakan pendekatan analisis ekonomi dengan indikator keuntungan serta rasio R/C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi pupuk mikro memberikan pengaruh nyata terhadap tinggi tanaman, jumlah cabang, dan jumlah tandan bunga, serta komponen hasil seperti jumlah buah per tanaman, bobot buah, dan total hasil per tanaman, petak, dan hektar. Perlakuan 1.0 dosis pupuk mikro menunjukkan hasil terbaik dengan jumlah buah 125.8 buah per tanaman, hasil 2,346.5 g per tanaman, dan hasil 15.79 ton per hektar. Efektivitas agronomis diukur melalui nilai efektivitas agronomi relatif (EAR), di mana perlakuan 1.0 dosis menunjukkan nilai tertinggi sebesar 199%, yang berarti peningkatan hasil sebesar 1.99 kali dibandingkan kontrol. Dari sisi ekonomi, perlakuan ini juga menghasilkan keuntungan tertinggi sebesar Rp14,075,000 dengan rasio R/C paling tinggi. Hasil ini menunjukkan bahwa pupuk mikro Zn, Cu, dan B tidak hanya efektif dalam meningkatkan produktivitas tomat, tetapi juga layak secara ekonomi untuk diterapkan dalam budidaya tomat skala usahatani.

Furqoni. 2025

Kata kunci: Efektivitas Agronomis, Efektivitas Agronomi Relatif (EAR), Kelayakan Ekonomi, Komponen Hasil, Rasio R/C



Copyright © 2025 The Author(s)
This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license

1. PENDAHULUAN

Tomat (*Solanum lycopersicum* L.) merupakan salah satu komoditas hortikultura yang memiliki nilai strategis secara ekonomi dan nutrisi. Tanaman ini banyak dikonsumsi dalam bentuk segar maupun olahan, serta menjadi sumber utama vitamin C, likopen, dan antioksidan yang bermanfaat bagi kesehatan manusia (Atherton & Rudich, 1986; Rezk et al., 2021). Di Indonesia, tomat berperan penting dalam mendukung ketahanan pangan dan pendapatan petani, khususnya di kawasan dataran tinggi dan sentra hortikultura. Namun demikian, produktivitas tomat nasional masih tergolong rendah dibandingkan dengan rata-rata global.

Data dari FAO (2025) menunjukkan bahwa produktivitas tomat global mencapai sekitar 38.7 ton per hektar, dengan negara-negara seperti Tiongkok dan Amerika Serikat mampu menghasilkan lebih dari 50 ton per hektar melalui sistem budidaya intensif. Sebaliknya, produktivitas tomat di Indonesia hanya berkisar 18.5 ton per hektar (BPS, 2025; IndexBox, 2025), yang mencerminkan adanya kesenjangan produktivitas yang signifikan dan menjadi tantangan utama dalam pengembangan agribisnis tomat nasional.

Salah satu faktor yang berkontribusi terhadap rendahnya produktivitas tersebut adalah defisiensi unsur hara mikro, khususnya seng (Zn), boron (B), dan tembaga (Cu). Unsur hara mikro ini berkontribusi signifikan terhadap sejumlah proses fisiologis tanaman, meliputi aktivasi enzim, pembentukan dinding sel, viabilitas serbuk sari, dan pertahanan terhadap serangan patogen (Alloway, 2008; Aftab & Hakeem, 2020). Kondisi tanah tropis yang umumnya masam, curah hujan tinggi, serta praktik budidaya intensif menyebabkan pencucian dan penurunan ketersediaan unsur mikro tersebut (Vlek, 1985; Jatav et al., 2020).

Pemupukan makro yang melibatkan nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) telah banyak diterapkan, tetapi defisiensi unsur mikro umumnya sulit dideteksi secara visual dan dapat memengaruhi secara signifikan mekanisme metabolisme tanaman. Fenomena ini dikenal sebagai “kelaparan tersembunyi” (Alloway, 2008). Seng berperan dalam sintesis auksin dan perkembangan akar, boron penting untuk transportasi gula dan keberhasilan reproduksi, sedangkan tembaga berfungsi dalam sintesis lignin dan aktivasi sistem pertahanan tanaman (Fariduddin et al., 2021; Kaur & Garg, 2021).

Tujuan penelitian ini adalah mengkaji pengaruh aplikasi seng (Zn), boron (B), dan tembaga (Cu) terhadap parameter pertumbuhan dan hasil tomat yang dibudidayakan di lingkungan agroklimat tropis Indonesia. Dengan membandingkan beberapa tingkat dosis masing-masing unsur mikro dengan perlakuan kontrol, studi ini diharapkan dapat mengidentifikasi strategi pemupukan yang optimal untuk meningkatkan hasil panen, kualitas buah, dan ketahanan tanaman. Penelitian ini

Furqoni. 2025

diharapkan dapat berkontribusi pada pengembangan sistem produksi tomat yang lebih efisien dan berkelanjutan, sekaligus mendukung program peningkatan ketahanan pangan nasional.

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Bahan

Penelitian ini menggunakan benih tomat varietas Marta, pupuk mikro yang mengandung Zn, Cu, dan B untuk pengujian efektivitas, serta pupuk makro berupa urea, SP-36, dan KCl. Peralatan yang digunakan meliputi sarana budidaya seperti cangkul, koret, sprayer, dan ajir sampel. Pengolahan data dilakukan menggunakan komputer dengan perangkat lunak analisis statistik SAS. Komposisi dan kandungan pupuk mikro berdasarkan hasil analisis laboratorium disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi dan kandungan unsur hara pupuk mikro.

Nama Unsur	Satuan	Kandungan
Zinc (Zn)	%	8.39
Copper (Cu)	%	12.11
B ₂ O ₃	%	4.52
Moisture	%	1.74
Lead (Pb)	Ppm	300
Cadmium (Cd)	Ppm	55
Arsenic (As)	Ppm	3.29
Mercury (Hg)	Ppm	1.87

2.2 Metode Pengujian

Rancangan percobaan yang digunakan adalah rancangan acak kelompok dengan 4 ulangan. Perlakuan disusun dalam 6 taraf pemupukan yaitu tanpa pupuk mikro yang diuji tetapi tetap dipupuk NPK (P0), pemupukan 0.5 dosis pupuk mikro (P1), pemupukan 0.75 dosis pupuk mikro (P2), pemupukan 1 dosis pupuk mikro (P3), pemupukan 1.25 dosis pupuk mikro (P4), pemupukan 1.5 dosis pupuk mikro (P5). Setiap perlakuan diulang sebanyak empat kali sehingga total terdapat 24 satuan percobaan. Masing-masing satuan percobaan berupa pertanaman dengan luas 25 m². Rincian perlakuan yang diterapkan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rincian perlakuan pupuk mikro.

Perlakuan	Dosis mikro (kg ha ⁻¹)
Kontrol	-
0.5 dosis pupuk mikro	50
0.75 dosis pupuk mikro	75
1.0 dosis pupuk mikro	100
1.25 dosis pupuk mikro	125
1.5 dosis pupuk mikro	150

Keterangan: Seluruh perlakuan diaplikasikan pupuk dasar menggunakan 350, 300, dan 350 kg ha⁻¹ secara berturut-turut untuk pupuk urea, Sp-36, dan KCl.

2.3 Metode Pelaksanaan Percobaan

Lahan percobaan diolah secara intensif melalui pencangkulan dua kali hingga siap tanam.

Furqoni. 2025

Pengolahan kedua dilanjutkan dengan pembuatan guludan selebar 1 m dengan jarak antar guludan sekitar 50 cm. Setiap satuan percobaan terdiri atas lima guludan dengan panjang masing-masing 5 m. Bibit tomat dipindahkan ke lahan pada umur ± 4 minggu setelah semai, ketika telah memiliki enam helai daun. Jarak tanam yang digunakan adalah 60 cm $\times$ 60 cm dengan satu tanaman per lubang, sehingga terdapat 35 tanaman per petak. Pupuk mikro diaplikasikan dua kali, yaitu pada 1 dan 4 minggu setelah tanam (MST) dengan cara ditaburkan di atas guludan. Pupuk urea diberikan dalam dua tahap: 50% dosis pada 1 MST dan sisanya pada 4 MST, sedangkan pupuk SP-36 dan KCl diaplikasikan pada 1 MST. Pengendalian hama dan penyakit dilakukan secara terbatas menggunakan pestisida sesuai tingkat serangan.

2.4 Pengamatan

Parameter pertumbuhan yang diamati meliputi tinggi tanaman, jumlah cabang, dan jumlah bunga. Pengamatan dilakukan pada lima tanaman contoh yang dipilih secara acak. Komponen hasil mencakup jumlah buah per tanaman, bobot sepuluh buah, hasil per tanaman, hasil ubinan, serta hasil per hektar yang dihitung berdasarkan konversi dari ubinan.

2.5 Analisis Data

Data dianalisis secara statistik melalui analisis ragam, dilanjutkan dengan uji Duncan Multiple Range Test (DMRT) pada tingkat signifikansi 5%. Analisis kelayakan usahatani dilakukan menggunakan pendekatan ekonomi dengan indikator keuntungan dan rasio R/C.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil

3.1.1 Pengaruh Pupuk Mikro terhadap Pertumbuhan Tanaman

Hasil uji sidik ragam menunjukkan bahwa pemberian pupuk mikro berpengaruh nyata terhadap variabel tinggi tanaman tomat jika dibandingkan dengan kontrol (Tabel 3). Pemberian pupuk mikro dengan 0.5 – 1.5 dosis menunjukkan tinggi tanaman yang lebih baik mulai dari 6 – 8 MST dibandingkan dengan kontrolnya. Pada akhir pengamatan, tinggi tanaman pada perlakuan kontrol tercatat 150 cm, sedangkan tanaman yang menerima pupuk mikro menunjukkan kisaran tinggi antara 163.1 hingga 167.5 cm.

Tabel 3. Respon tinggi tanaman tomat terhadap perlakuan pupuk mikro.

Perlakuan	Tinggi Tanaman (cm)			
	5 MST	6 MST	7 MST	8 MST
Kontrol	73.4 ^a	102.4 ^b	126.7 ^b	150.0 ^b
0.5 dosis pupuk mikro	80.5 ^a	116.5 ^a	142.7 ^a	165.3 ^a
0.75 dosis pupuk mikro	78.3 ^a	114.8 ^a	140.3 ^a	163.1 ^a
1.0 dosis pupuk mikro	79.3 ^a	118.6 ^a	144.3 ^a	167.5 ^a
1.25 dosis pupuk mikro	81.3 ^a	116.3 ^a	142.7 ^a	165.4 ^a
1.5 dosis pupuk mikro	79.4 ^a	115.9 ^a	142.0 ^a	166.2 ^a

Keterangan: angka-angka pada kolom yang sama yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berpengaruh nyata menurut uji DMRT taraf 5 %.

Aplikasi pupuk mikro berpengaruh signifikan terhadap jumlah cabang tanaman tomat (Tabel 4). Pemberian 0.5, 1.0 dan 1.25 dosis pupuk mikro menunjukkan respon yang nyata mulai 6 MST

Furqoni. 2025

sampai akhir pengamatan (8 MST) dibandingkan dengan kontrol. Sedangkan perlakuan 1.5 dosis pupuk mikro baru menunjukkan respon yang nyata setelah 7 MST dibandingkan dengan kontrolnya. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa aplikasi pupuk mikro meningkatkan jumlah cabang tomat dibandingkan perlakuan kontrol, yaitu antara 18 dan 18.3 cabang per tanaman.

Tabel 4. Respon jumlah cabang tomat terhadap perlakuan pupuk mikro.

Perlakuan	Jumlah Cabang			
	5 MST	6 MST	7 MST	8 MST
Kontrol	12.0 ^a	13.2 ^b	15.2 ^b	17.2 ^c
0.5 dosis pupuk mikro	11.9 ^a	14.2 ^a	16.3 ^a	18.3 ^a
0.75 dosis pupuk mikro	11.8 ^a	13.6 ^{ab}	15.9 ^a	17.4 ^{bc}
1.0 dosis pupuk mikro	11.9 ^a	14.0 ^a	16.0 ^a	18.0 ^{ab}
1.25 dosis pupuk mikro	11.6 ^a	13.9 ^a	16.2 ^a	18.1 ^{ab}
1.5 dosis pupuk mikro	12.0 ^a	13.7 ^{ab}	15.8 ^a	18.1 ^{ab}

Keterangan: angka-angka pada kolom yang sama yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berpengaruh nyata menurut uji DMRT taraf 5 %.

Tabel 5 memperlihatkan bahwa aplikasi pupuk mikro berpengaruh signifikan terhadap jumlah tandan bunga tomat. Perlakuan dengan dosis 0.5; 1.0; dan 1.25 menunjukkan pembentukan tandan bunga lebih cepat pada 6 MST dibandingkan kontrol. Sementara itu, dosis 0.75 dan 1.5 baru memberikan peningkatan jumlah tandan bunga pada 7 MST. Pada akhir pengamatan (8 MST), seluruh dosis pupuk mikro menghasilkan jumlah tandan bunga yang lebih tinggi dibandingkan kontrol.

Tabel 5. Respon jumlah tandan bunga tomat terhadap perlakuan pupuk mikro.

Perlakuan	Jumlah tandan bunga			
	5 MST	6 MST	7 MST	8 MST
Kontrol	1.5 ^a	2.5 ^c	3.5 ^b	4.5 ^b
0.5 dosis pupuk mikro	1.7 ^a	2.9 ^a	4.0 ^a	5.3 ^a
0.75 dosis pupuk mikro	1.5 ^a	2.5 ^{bc}	3.8 ^a	5.1 ^a
1.0 dosis pupuk mikro	1.6 ^a	2.8 ^{ab}	4.0 ^a	5.3 ^a
1.25 dosis pupuk mikro	1.7 ^a	2.9 ^a	4.0 ^a	5.1 ^a
1.5 dosis pupuk mikro	1.6 ^a	2.6 ^{abc}	3.8 ^a	5.4 ^a

Keterangan: angka-angka pada kolom yang sama yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berpengaruh nyata menurut uji DMRT taraf 5 %.

3.1.2 Respon Tanaman Tomat terhadap Pupuk Mikro pada Komponen Hasil dan Total Produksi

Hasil pengamatan terhadap komponen hasil (Tabel 6) menunjukkan bahwa aplikasi pupuk mikro memberikan peningkatan dibandingkan kontrol. Perlakuan dengan dosis 0.5–1.5 mampu meningkatkan jumlah buah per tanaman, di mana kontrol hanya menghasilkan 113.5 buah, sedangkan perlakuan pupuk mikro menghasilkan 120.0–125.8 buah per tanaman. Peningkatan ini setara dengan 5.7–10.8% dibandingkan kontrol.

Furqoni. 2025

Tabel 6. Respon jumlah buah per tanaman tomat terhadap perlakuan pupuk mikro.

Perlakuan	Jumlah buah/tanaman	Bobot 10 buah (g)
Kontrol	113.5 ^b	774.5 ^b
0.5 dosis pupuk mikro	121.5 ^a	971.5 ^a
0.75 dosis pupuk mikro	123.5 ^a	991.0 ^a
1.0 dosis pupuk mikro	125.8 ^a	976.5 ^a
1.25 dosis pupuk mikro	120.0 ^a	1009.0 ^a
1.5 dosis pupuk mikro	124.3 ^a	1027.5 ^a

Keterangan: angka-angka pada kolom yang sama yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berpengaruh nyata menurut uji DMRT taraf 5 %

Hasil pengukuran bobot pada sepuluh buah tomat mengindikasikan bahwa pemberian pupuk mikro pada kisaran dosis 0.5 hingga 1.5 lebih efektif dibandingkan tanpa perlakuan (lihat Tabel 6). Hal ini menunjukkan bahwa pemberian pupuk mikro membuat buah tomat menjadi lebih besar dibandingkan jika tidak diberikan pupuk tersebut. Bobot 10 buah pada perlakuan kontrol hanya menghasilkan bobot seberat 774.5 g sedangkan perlakuan dosis pupuk mikro menghasilkan bobot buah seberat 971.5 – 1,027.5 g. Bobot 10 buah yang diberikan perlakuan pupuk mikro meningkat sebesar 25.4 – 32.7% dibandingkan dengan kontrol.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian pupuk mikro berpengaruh nyata terhadap parameter hasil, termasuk produksi per tanaman, per petak, dan per hektar (Tabel 7). Pada dosis 0.5–1.5, hasil per tanaman meningkat 26.4–30.4% dibandingkan kontrol (1,800 g per tanaman). Dosis 1.0–1.5 memberikan hasil per petak lebih tinggi, dengan peningkatan 43.8–53.1% dibandingkan kontrol (25.8 kg). Perlakuan yang sama juga meningkatkan hasil per hektar menjadi 15,790 kg, sedangkan kontrol hanya mencapai 10,310 kg.

Tabel 7. Respon hasil tanaman tomat terhadap perlakuan pupuk mikro.

Perlakuan	Hasil/Tanaman (g)	Hasil /Petak (kg)	Hasil/ha (kg/ha)
Kontrol	1800.0 ^b	25.8 ^c	10310 ^c
0.5 dosis pupuk mikro	2250.5 ^a	34.7 ^b	13860 ^b
0.75 dosis pupuk mikro	2278.5 ^a	34.2 ^b	13660 ^b
1.0 dosis pupuk mikro	2346.5 ^a	39.5 ^a	15790 ^a
1.25 dosis pupuk mikro	2274.5 ^a	37.1 ^a	14840 ^a
1.5 dosis pupuk mikro	2371.0 ^a	39.1 ^a	15640 ^a

Keterangan: angka-angka pada kolom yang sama yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berpengaruh nyata menurut uji DMRT taraf 5 %

3.1.3 Nilai Efektifitas Agronomi Relatif

Efektivitas agronomi relatif (EAR) merupakan indikator penting untuk menilai efektivitas pupuk. Pupuk dinyatakan efektif secara agronomis apabila nilai EAR melebihi 100, yang menunjukkan bahwa peningkatan hasilnya lebih besar dibandingkan pupuk pembanding terhadap kontrol. Perlakuan dengan dosis pupuk mikro 0.5–1.5 memenuhi kriteria ini karena memiliki nilai EAR >100. Dosis 1.0 menghasilkan nilai EAR tertinggi, yaitu 199%, yang berarti peningkatan hasil mencapai 1.99 kali lipat dibandingkan kontrol (Tabel 8).

Furqoni. 2025

Tabel 8. Respon nilai EAR terhadap perlakuan pupuk mikro.

Perlakuan	Efektivitas Agronomi Relatif (%)
Kontrol	-
0.5 dosis pupuk mikro	129
0.75 dosis pupuk mikro	121
1.0 dosis pupuk mikro	199
1.25 dosis pupuk mikro	164
1.5 dosis pupuk mikro	193

3.1.4 Analisis Tanah

Analisis tanah dilakukan pada dua tahap, yaitu sebelum perlakuan untuk mengetahui kesuburan awal dan setelah pengujian untuk mengevaluasi pengaruh pupuk terhadap kesuburan. Ringkasan hasil analisis dapat dilihat pada Tabel 9. Hasil analisis tanah memperlihatkan bahwa kandungan unsur mikro Zn, Cu, dan B didalam tanah setelah perlakuan pupuk mikro mengalami peningkatan dibandingkan dengan sebelum perlakuan. Hal ini memperlihatkan bahwa dengan penambahan unsur hara mikro dapat meningkatkan jumlahnya di dalam tanah yang kemudian bisa dimanfaatkan oleh tanaman untuk pertumbuhannya.

Tabel 9. Hasil analisis tanah sebelum dan sesudah percobaan.

Parameter	Sebelum Percobaan	Setelah Percobaan						
		P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Zn (ppm)	9.2	10.2	13.2	12.4	15.2	14.7	13.4	12.6
Cu (ppm)	10.1	10.4	14.4	15.1	14.2	12.1	11.5	12.4
B (ppm)	8.5	15.3	15.2	13.2	14.5	12.5	15.2	14.6

3.1.5 Analisis Usaha Tani

Analisis kelayakan usahatani dilakukan untuk menilai efektivitas ekonomi melalui parameter keuntungan dan rasio R/C. Pupuk dinilai efektif secara ekonomi apabila dapat menghasilkan keuntungan dan R/C yang lebih tinggi dibandingkan perlakuan kontrol. Hasil analisis usahatani memperlihatkan bahwa nilai R/C ratio untuk perlakuan 0.5 – 1.5 dosis pupuk mikro lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol. Keuntungan tertinggi diperoleh dari perlakuan 1.0 dosis pupuk mikro yang menghasilkan keuntungan sebesar 14,075,000 sedangkan perlakuan kontrol hanya menghasilkan keuntungan sebesar 3,375,000.

Tabel 10. Analisis usaha tani pengujian pupuk mikro pada tanaman tomat.

Perlakuan	Biaya (Rp)	Pendapatan (Rp)	Keuntungan (Rp)	R/C
Kontrol	22,400,000	25,775,000	3,375,000	1.15
0.5 dosis pupuk mikro	23,900,000	34,650,000	10,750,000	1.45
0.75 dosis pupuk mikro	24,650,000	34,150,000	9,500,000	1.39
1.0 dosis pupuk mikro	25,400,000	39,475,000	14,075,000	1.55
1.25 dosis pupuk mikro	26,100,000	37,100,000	11,000,000	1.42
1.5 dosis pupuk mikro	26,900,000	39,100,000	12,200,000	1.45

Furqoni. 2025

3.2 Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi pupuk mikro secara umum memengaruhi pertumbuhan tomat, meliputi tinggi tanaman, jumlah cabang, dan jumlah tandan bunga. Semua perlakuan dengan dosis 0.5–1.5 menghasilkan nilai lebih tinggi dibandingkan kontrol pada akhir pengamatan.

Aplikasi pupuk mikro berpengaruh terhadap komponen hasil tomat, termasuk jumlah buah per tanaman, bobot 10 buah, hasil per tanaman, per petak, dan per hektar. Semua dosis 0.5–1.5 menunjukkan hasil lebih tinggi dibandingkan kontrol, meskipun tidak terdapat perbedaan nyata antar dosis. Perlakuan dengan dosis 1.0 cenderung memberikan hasil tertinggi, yaitu 125.8 buah per tanaman, 2,346.5 g per tanaman, 39.5 kg per petak, dan 15.79 ton per hektar.

Tingkat efektivitas pupuk mikro dalam pengujian ini juga dapat diukur baik secara agronomi maupun ekonomi. Berdasarkan nilai efektivitas agronomi relatif, perlakuan 1.0 dosis pupuk mikro menunjukkan hasil yang paling tinggi dengan nilai 199% yang artinya dapat meningkatkan produksi sebesar 1.99 kali dibandingkan dengan kontrol. Selain itu, perlakuan 1.0 dosis pupuk mikro efektif secara ekonomi karena menghasilkan R/C ratio tertinggi dengan keuntungan yang diperoleh sebesar 14,075,000.

Thiyagarajan (2021) melaporkan bahwa aplikasi 5 kg Zn glycinate ha⁻¹ melalui fertigasi pada fase tanam, vegetatif, dan berbunga menghasilkan peningkatan hasil buah segar sebesar 18.2% dibandingkan dengan aplikasi Zn EDTA pada tanah kalsit. Bariya et al. (2014) menunjukkan bahwa aplikasi boron secara optimal dapat meningkatkan efisiensi penggunaan hara, pertumbuhan bibit, dan hasil biji melalui peningkatan efisiensi ekstraksi dan integrasi unsur hara dalam jaringan tanaman. Selain itu, Day & Aasim (2020) menekankan bahwa boron dalam jumlah yang tepat mampu meningkatkan ekspansi daun, pemanjangan akar, dan perkembangan bunga, serta meningkatkan kandungan pigmen dan pengisian buah tomat. Mir et al. (2021) menunjukkan bahwa aplikasi Cu dalam jumlah yang sesuai dapat meningkatkan aktivitas enzim seperti plastosianin dan polifenol oksidase, yang berkontribusi terhadap asimilasi karbon dioksida, produksi ATP, dan ketahanan terhadap stres oksidatif, sehingga berdampak langsung pada peningkatan biomassa dan hasil panen tomat.

Seng (Zn) memiliki fungsi penting dalam metabolisme tanaman, terutama bertindak sebagai kofaktor bagi berbagai enzim yang terlibat dalam proses metabolisme. Zn sangat penting untuk sintesis molekul utama seperti auksin dan berperan signifikan dalam metabolisme protein, pembentukan klorofil, fotosintesis, dan fiksasi karbohidrat (Vidmahe et al., 2022; Archana et al., 2024; Ladolia et al., 2024). Kekurangan Zn dapat sangat menghambat pertumbuhan tanaman, menyebabkan gejala seperti pertumbuhan terhambat dan penurunan kandungan klorofil, yang sebagian besar disebabkan oleh gangguan dalam regulasi hormon dan aktivitas metabolik (Archana et al., 2024). Selain itu, Zn meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stres lingkungan dan memfasilitasi pemanfaatan nutrisi esensial lainnya secara efisien (Shahid et al., 2023; Ladolia et al., 2024). Kehadiran Zn dapat memengaruhi berbagai jalur fisiologis dan biokimia, termasuk metabolisme oksidatif dan transduksi sinyal, yang sangat penting untuk menjaga homeostasis dalam

Furqoni. 2025

sistem tanaman (Shahid et al., 2023; Marichali et al., 2016; Khan et al., 2021).

Tembaga (Cu) merupakan mikronutrien penting yang esensial bagi berbagai proses fisiologis dalam tanaman, terutama berfungsi sebagai kofaktor bagi banyak enzim yang terlibat dalam jalur biokimia krusial. Sebagai contoh, Cu sangat penting bagi aktivitas enzim seperti laccase, cytochrome c oxidase, dan superoxide dismutase (SOD) (Chen et al., 2022; Leng et al., 2015). Enzim-enzim ini berperan penting dalam proses seperti fotosintesis, produksi energi, dan respons terhadap stres oksidatif, yang menegaskan peran Cu dalam menjaga kesehatan dan fungsi seluler (Chen et al., 2022; Xu et al., 2024; Shin et al., 2012; Leng et al., 2015). Selain itu, Cu juga berperan signifikan dalam metabolisme dinding sel serta regulasi biosintesis dan sinyal etilen, yang penting bagi pertumbuhan dan respons perkembangan tanaman (Xu et al., 2024; Printz et al., 2016). Namun, meskipun Cu diperlukan, kadar yang berlebihan dapat menyebabkan toksisitas, seperti pertumbuhan akar yang terhambat dan kerusakan makromolekul (Shi et al., 2023), serta gangguan efisiensi fotosintesis (Barón et al., 1995). Transportasi dan homeostasis Cu diatur secara ketat melalui mekanisme yang melibatkan metalokaperon dan ATPase tipe-P, yang membantu mengurangi toksisitas sekaligus memastikan pasokan Cu yang cukup untuk fungsi fisiologis (Leng et al., 2015; Bernal et al., 2012).

Boron (B) merupakan mikronutrien esensial yang memainkan berbagai peran penting dalam metabolisme tanaman. Boron terutama terlibat dalam menjaga integritas struktural dan fungsi dinding sel, khususnya dalam pembentukan rhamnogalakturonan II, suatu komponen yang berperan dalam kohesi dan stabilitas dinding sel (Brdar-Jokanović, 2020; Shireen et al., 2018; Bassil et al., 2004). Selain itu, boron sangat memengaruhi proses seperti pembelahan sel, diferensiasi, dan pemanjangan, sehingga berdampak pada perkembangan akar dan tunas (Shireen et al., 2018; Bielski et al., 2020). Boron juga penting dalam memfasilitasi transportasi karbohidrat dan nutrisi di dalam tanaman, memengaruhi jalur metabolisme yang berkaitan dengan translokasi gula dan metabolisme nitrogen (Ruuhola et al., 2011). Selain itu, boron berperan krusial dalam proses reproduksi, meningkatkan viabilitas serbuk sari, pertumbuhan tabung serbuk sari, dan kesuburan secara keseluruhan (Daud et al., 2024).

4. SIMPULAN

Aplikasi pupuk mikro yang mengandung unsur Zn, Cu, dan B terbukti memberikan pengaruh positif terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman tomat. Seluruh perlakuan dosis pupuk mikro (0.5–1.5 dosis) menunjukkan peningkatan yang signifikan dibandingkan dengan kontrol pada parameter tinggi tanaman, jumlah cabang, jumlah tandan bunga, serta komponen hasil seperti jumlah buah per tanaman, bobot buah, dan total hasil per tanaman, petak, dan hektar. Meskipun tidak terdapat perbedaan nyata antar dosis, perlakuan 1.0 dosis pupuk mikro cenderung memberikan hasil terbaik secara agronomis. Efektivitas agronomi relatif tertinggi dicapai oleh perlakuan 1.0 dosis dengan nilai EAR sebesar 199%, menunjukkan peningkatan hasil hampir dua kali lipat dibandingkan kontrol. Dari sisi ekonomi, perlakuan ini juga menghasilkan keuntungan tertinggi sebesar Rp14.075.000 dan rasio R/C paling tinggi, sehingga dinyatakan layak secara ekonomi. Dengan demikian, pupuk mikro Zn, Cu, dan B dapat direkomendasikan sebagai strategi pemupukan yang efektif dan berkelanjutan

Furqoni. 2025

dalam budidaya tomat.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Aftab, T., & Hakeem, K. R. (Eds.). (2020). *Plant Micronutrients: Deficiency and Toxicity Management*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-49856-6>
- Alloway, B. J. (2008). *Micronutrients and Crop Production: An Introduction*. Dalam *Micronutrient Deficiencies in Global Crop Production* (hlm. 1–39). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6860-7_1
- Archana, B., Bindhu, J. S., Pillai, S., John, J., & Meera, A. V. (2024). Zinc Nutrition in Rice Based Cropping Systems: A Comprehensive Review. *J. Exp. Agric. Int*, 46(5), 574-583.
- Atherton, J. G., & Rudich, J. (1986). *The Tomato Crop: A Scientific Basis for Improvement*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-009-3137-4>
- Bariya, H., Bagtharia, S., & Patel, A. (2014). Boron: A Promising Nutrient for Increasing Growth and Yield of Plants. In *Nutrient Use Efficiency in Plants* (pp. 153–170). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-10635-9_6
- Barón, M., Arellano, J. B., & Gorgé, J. L. (1995). Copper and photosystem II: a controversial relationship. *Physiologia Plantarum*, 94(1), 174-180.
- Bassil, E., Hu, H., & Brown, P. H. (2004). Use of phenylboronic acids to investigate boron function in plants. Possible role of boron in transvacuolar cytoplasmic strands and cell-to-wall adhesion. *Plant Physiology*, 136(2), 3383-3395.
- Bernal, M., Casero, D., Singh, V., Wilson, G. T., Grande, A., Yang, H., ... & Krämer, U. (2012). Transcriptome sequencing identifies SPL7-regulated copper acquisition genes FRO4/FRO5 and the copper dependence of iron homeostasis in Arabidopsis. *The Plant Cell*, 24(2), 738-761.
- Bielski, S., Romanekas, K., & Šarauskis, E. (2020). Impact of nitrogen and boron fertilization on winter triticale productivity parameters. *Agronomy*, 10(2), 279.
- BPS. (2025). *Luas Panen, Produksi, dan Hasil Per Hektar Tomat*. Diakses dari <https://bombanakab.bps.go.id/en/statistics-table/2/MTUylzl=/luas-panen-produksi-dan-hasil-per-hektar-tomat.html>
- Brdar-Jokanović, M. (2020). Boron Toxicity and Deficiency in Agricultural Plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(4), 1424.
- Chen, G., Li, J., Han, H., Du, R., & Wang, X. (2022). Physiological and molecular mechanisms of plant responses to copper stress. *International journal of molecular sciences*, 23(21), 12950.
- Daud, M. F., Nordin, S. M. A. I. S., Tajudin, M. A., Yahana, A. Y. A., Zainurin, F. A., Jahaya, Z., ... & Wicaksono, F. Y. (2024, September). Potential of boron nutrition on agronomic performance and yield attributes of two high yielding rice varieties in Malaysia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1397, No. 1, p. 012009). IOP Publishing.
- Day, S., & Aasim, M. (2020). Role of Boron in Growth and Development of Plant: Deficiency and Toxicity Perspective. In Aftab, T., & Hakeem, K. R. (Eds.), *Plant Micronutrients* (pp. 435–456). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-49856-6_19

Furqoni. 2025

- FAO. (2025). Tomato Yields – UN FAO. Our World in Data. Diakses dari <https://ourworldindata.org/grapher/tomato-yields>
- Fariduddin, Q., Saleem, M., Khan, T. A., & Hayat, S. (2021). Zinc as a versatile element in plants: An overview on its uptake, translocation, assimilatory roles, deficiency and toxicity symptoms. Dalam *Microbial Biofertilizers and Micronutrient Availability* (hlm. 137–158). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-76609-2_7
- IndexBox. (2025). Production of Tomato in Indonesia. Diakses dari <https://www.indexbox.io/search/production-tomato-indonesia/>
- Jatav, H. S., Sharma, L. D., Sadhukhan, R., Singh, S. K., Singh, S., & Rajput, V. D. (2020). An overview of micronutrients: Prospects and implication in crop production. Dalam Aftab, T., & Hakeem, K. R. (Eds.), *Plant Micronutrients: Deficiency and Toxicity Management* (hlm. 1–30). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-49856-6>
- Kaur, H., & Garg, N. (2021). Zinc toxicity in plants: A review. *Planta*, 253(129). <https://doi.org/10.1007/s00425-021-03642-z>
- Khan, S. T., Malik, A., & Ahmad, F. (2021). Role of zinc homeostasis in plant growth. In *Microbial biofertilizers and micronutrient availability: The role of zinc in agriculture and human health* (pp. 179-195). Cham: Springer International Publishing.
- Ladolia, S., Rana, N., Srivastava, P., Kumar, R., Mehta, S., & Pareek, B. (2024). Use of zinc solubilizing biofertilizers for increasing the growth and yield of cereals: A review. *Journal of Applied & Natural Science*, 16(3).
- Leng, X., Mu, Q., Wang, X., Li, X., Zhu, X., Shangguan, L., & Fang, J. (2015). Transporters, chaperones, and P-type ATPases controlling grapevine copper homeostasis. *Functional & integrative genomics*, 15(6), 673-684.
- Marichali, A., Dallali, S., Ouerghemmi, S., Sebei, H., Casabianca, H., & Hosni, K. (2016). Responses of *Nigella sativa* L. to zinc excess: focus on germination, growth, yield and yield components, lipid and terpene metabolism, and total phenolics and antioxidant activities. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(8), 1664-1675.
- Mir, A. R., Pichtel, J., & Hayat, S. (2021). Copper: Uptake, Toxicity and Tolerance in Plants and Management of Cu-contaminated Soil. *BioMetals*, 34, 737–759. <https://doi.org/10.1007/s10534-021-00306-z>
- Printz, B., Lutts, S., Hausman, J. F., & Sergeant, K. (2016). Copper trafficking in plants and its implication on cell wall dynamics. *Frontiers in plant science*, 7, 601.
- Rezk, A., Abhary, M., & Akhkha, A. (2021). Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) breeding strategies for biotic and abiotic stresses. Dalam *Advances in Plant Breeding Strategies: Vegetable Crops* (hlm. 363–405). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-66961-4_10
- Ruuhola, T., Leppänen, T., Julkunen-Tiitto, R., Rantala, M. J., & Lehto, T. (2011). Boron fertilization enhances the induced defense of silver birch. *Journal of Chemical Ecology*, 37(5), 460-471.
- Shahid, I., Brunetto, G., & Ricachenevsky, F. K. (2023). Capacity of the zinc mobilizing microbiome for climate-smart & sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1323144.
- Shi, Y., Jiang, N., Wang, M., Du, Z., Chen, J., Huang, Y., ... & Huang, J. (2023). OsHIPP17 is involved in regulating the tolerance of rice to copper stress. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1183445.

Furqoni. 2025

- Shin, L. J., Lo, J. C., & Yeh, K. C. (2012). Copper chaperone antioxidant protein1 is essential for copper homeostasis. *Plant physiology*, 159(3), 1099-1110.
- Shireen, F., Nawaz, M. A., Chen, C., Zhang, Q., Zheng, Z., Sohail, H., ... & Bie, Z. (2018). Boron: functions and approaches to enhance its availability in plants for sustainable agriculture. *International journal of molecular sciences*, 19(7), 1856.
- Thiyagarajan, C. (2021). Organo Zinc Chelates for Improving the Yield and Zinc Nutrition of Hybrid Tomato on Calcareous Soil Under Drip Fertigation. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22, 140–149. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00639-1>
- Vidmahe, V. H., Singh, V., & George, S. G. (2022). Influence of Biofertilizers and Zinc on Growth and Yield of Mustard (*Brassica juncea* L.). *International Journal of Environment and Climate Change*, 12(10), 540-545.
- Vlek, P. L. G. (1985). *Micronutrients in Tropical Food Crop Production*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-009-5055-9>
- Xu, E., Liu, Y., Gu, D., Zhan, X., Li, J., Zhou, K., ... & Zou, Y. (2024). Molecular mechanisms of plant responses to copper: From deficiency to excess. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(13), 6993.