BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Rekapitulasi Hasil Analisis Ragram

Berdasarkan hasil analisi ragram pada seluruh parameter penelitian terhadap respon hasil *microgreens* Kangkung (*Ipomoea Reptans* P.) akibat biofortifikasi Zn: studi konsentrasi dan teknik aplikasi. Rekapitulasi hasil analisis ragram yang menunjukkan pengaruh faktor perlakuan, teknik aplikasi, serta interaksi antara keduanya terhadap setiap parameter pengramatan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi Hasil Analisis Ragram dan Uji Lanjut Seluruh Parameter

Parameter pengramatan	Perlakuan		
	Konsentrasi Zn (S0, S1, S2, S3, S4	Teknik Aplikasi (V1, V2, V3)	Interaksi
Bobot Segar	*(b/a/b/b/b)	tn	tn
Bobot Kering	*(b/a/b/b/b)	tn	tn
Kadar Klorofil	*(a/b/c/d/c)	*(a/b/b)	* V1(abcd/cde/ab/bcde/abcde) V2 (a/abc/fg/fg/cde) V3(abcde/abcde/def/g/efg)
Kadar Karotenoid	*(a/ab/bc/c/bc)	*(a/b/ab)	* V1(abc/c/ab/cd/abc) V2 (a/ab/e/e/bc) V3(abc/cd/de/e/de)
Kadar flavonoid	*(b/a/a/a/a)	tn	* V1(e/ab/ab/a/ab) V2 (d/ab/c/de/b) V3(de/ab/c/ab/ab)
Kadar Fenolik	*(a/bc/bc/ab/b)	tn	tn
Kadar Zn	tn	*(b/b/a)	* V1(bc/d/bc/d/ab) V2 (bc/cd/bc/cd/d) V3(bc/ab/bc/a/c)

S = Konsentrasi Zn, V = Teknik aplikasi, * = berpengaruh nyata, tn = tidak berpengaruh nyata

Berdasarkan Tabel 2, perlakuan biofortifikasi Zn berpengaruh nyata terhadap bobot segar, bobot kering, kadar klorofil, kadar karotenoid, kadar flavonoid, dan kadar fenolik. Perlakuan teknik aplikasi yang berbeda berpengaruh nyata terhadap kadar klorofil, kadar karotenoid, dan kadar Zn. Interaksi antara konsentrasi dan Teknik aplikasi Zn berpengaruh nyata terhadap kadar klorofil, kadar karotenoid, kadar flavonoid dan kadar Zn.

4.2. Bobot segar

Berdasarkan hasil analisis ragam menunjukan bahwa perlakuan konsentrasi Zn berpengaruh nyata terhadap bobot segar tanaman kangkung varietas Serimpi, namun faktor teknik pengaplikasian dan interaksi konsentrasi Zn dan teknik aplikasi tidak memberikan pengaruh nyata terhadap parameter bobot segar tanaman kangkung. Hasil bobot segar tanaman kangkung varietas serimpi pada perlakuan Zn dan teknik aplikasi terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Bobot Segar Tanaman Kangkung Var. Serimpi Pada Perlakuan Zn dan Teknik Aplikasi

Konsentrasi Zinc (Zn)mg/l	Teknik Aplikasi (V)			Rata-rata
	Foliar Spray	Fertigasi	*Seed priming*	
	---------- (g/396 cm^2) ----------			
0	52,24	61,28	48,74	54,09[b]
5	66,38	87,74	82,22	78,78[a]
10	66,95	57,05	44,06	56,02[b]
15	61,26	59,48	53,59	58,11[b]
20	55,48	36,10	60,44	50,67[b]
Rata-rata	60,46	60,33	57,81	

Superskrip berbeda pada kolom rata-rata menunjukkan adanya perbedaan nyata ($p < 0,05$).

Bedasarkan pada Tabel 3. diketahui bahwa perlakuan konsentrasi Zn 5mg/l menghasilkan bobot segar tertinggi yaitu 78,78 g dibandingkan dengan konsentrasi

Zn 0 mg/l, 10 mg/l, 15 mg/l, dan 20 mg/l. Hal ini diduga *Zinc* (Zn) dalam kosentrasi yang tepat berperan mendukung berbagai proses fisiologis tanaman, mulai dari pembentukan klorofil, hingga produksi hormon auksin yang memacu pembelahan dan pemanjangan sel. Efisiensi fotosintesis yang meningkat akibat kecukupan Zn pada akhirnya mendorong akumulasi fotosintat di jaringan tanaman sehingga biomassa dan Bobot segar tanaman turut meningkat. Pemberian Zn dalam konsentrasi yang terlalu tinggi dapat menyebabkan gangguan metabolisme tanaman akibat terjadinya ketidakseimbangan unsur hara dan akumulasi Zn dalam jaringan tanaman sehingga pertumbuhan tanaman menjadi terhambat (Rehman *et al*., 2018).

Bobot segar tanaman kangkung dipengaruhi secara signifikan oleh ketersediaan Zn dalam media tanam, di mana konsentrasi 5 mg/l diduga menjadi titik optimum yang mendukung efisiensi metabolisme, penyerapan air, dan translokasi fotosintat ke seluruh jaringan tanaman. Akan tetapi, peningkatan konsentrasi Zn di atas batas optimum cenderung memicu cekaman fisiologis yang menurunkan kinerja enzim dan menghambat serapan hara, sehingga akumulasi biomassa berkurang. Kondisi tersebut mempertegas prinsip bahwa unsur mikro bekerja secara konsentrasi, dependen dan keberadaannya dalam jumlah yang tepat menjadi kunci produktivitas tanaman. Hal ini sesuai dengan pendapat Hassan *et al*. (2019) yang menyatakan bahwa pemberian Zn secara optimal mampu mendorong pertumbuhan vegetatif melalui peningkatan kapasitas fotosintesis dan kandungan klorofil.

Teknik aplikasi fertigasi menghasilkan bobot segar tertinggi yaitu 60,33 g, diikuti *foliar spray* sebesar 60,46 g dan *seed priming* sebesar 57,81 g. Meskipun

demikian, hasil analisis ragram menunjukkan bahwa perbedaan teknik aplikasi tidak memberikan pengaruh nyata terhadap bobot segar *microgreens* kangkung. Kondisi ini diduga karena seluruh metode teknik aplikasi mampu menyediakan unsur Zn dalam jumlah yang cukup selama fase pertumbuhan awal, sehingga respons pertumbuhan biomassa lebih banyak dipengaruhi oleh konsentrasi Zn dibandingkan metode aplikasinya. Hal ini sesuai dengan pendapat Poudel *et al*. (2023) yang menyatakan bahwa *foliar spray*, fertigasi, maupun *seed priming* sama-sama mampu meningkatkan ketersediaan Zn pada tanaman, namun respons pertumbuhan biomassa tidak selalu menunjukkan perbedaan yang nyata antar teknik aplikasi. Selain itu, umur panen *microgreens* yang relatif singkat menyebabkan distribusi Zn dari ketiga metode tersebut belum menghasilkan perbedaan fisiologis yang signifikan terhadap akumulasi bobot segar tanaman. Hal ini sesuai dengan pendapat Li *et al*., (2021) yang menyatakan bahwa efektivitas teknik aplikasi unsur hara dengan *foliar spray*, fertigasi, maupun *seed priming* pada *microgreens* sangat dipengaruhi oleh lama pertumbuhan dan kemampuan tanaman menyerap nutrisi selama fase vegetatif awal.

4.3. Bobot Kering

Berdasarkan hasil analisis ragam menunjukan bahwa perlakuan konsentrasi Zn berpengaruh nyata terhadap bobot kering tanaman kangkung varietas Serimpi, namun faktor teknik pengaplikasian dan interaksi konsentrasi Zn dan teknik aplikasi tidak memberikan pengaruh nyata terhadap parameter bobot kering

tanaman kangkung. Hasil bobot kering tanaman kangkung varietas Serimpi pada perlakuan Zn dan teknik aplikasi terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Bobot Kering Tanaman Kangkung Var. Serimpi pada Perlakuan Zn dan Teknik Aplikasi

Konsentrasi Zinc (Zn)mg/l	Teknik Aplikasi (V)			Rata-rata
	Foliar Spray	Fertigasi	*Seed priming*	
	---------- (g/396 cm^2) ----------			
0	5,99	6,32	6,91	6,41[b]
5	7,59	9,38	8,83	8,60[a]
10	6,36	7,11	6,21	6,56[b]
15	7,09	6,22	6,54	6,62[b]
20	6,79	6,65	6,01	6,49[b]
Rata-rata	6,76	7,14	6,90	

Superskrip berbeda pada kolom rata-rata menunjukkan adanya perbedaan nyata ($p < 0,05$).

Bedasarkan pada Tabel 3. menunjukan bahwa faktor perlakuan tunggal konsentrasi Zn 5 mg/l menghasilkan bobot segar tertinggi yaitu 8,60 g dibandingkan dengan konsentrasi Zn 0 mg/l, 10 mg/l, 15 mg/l, dan 20 mg/l. Hal ini diduga karena pemberian Zn pada taraf optimum yaitu 5 mg/l mampu meningkatkan aktivitas metabolisme tanaman, terutama pada proses sintesis enzim dan pembentukan senyawa organik hasil fotosintesis yang berperan dalam pembentukan biomassa tanaman. Hal ini sesuai dengan pendapat Kaur *et al*. (2019) yang menyatakan bahwa unsur Zn diketahui pada taraf optimum 3 – 5 mg/l memiliki fungsi penting dalam menjaga integitas membran sel, aktivasi enzim dehidrogenase, serta membantu proses translokasi fotosintat menuju jaringan tanaman sehingga akumulasi bahan kering meningkat.

Bobot kering tanaman mencerminkan akumulasi total hasil fotosintesis yang tersimpan dalam jaringan tanaman setelah kandungan air dihilangkan. Tingginya

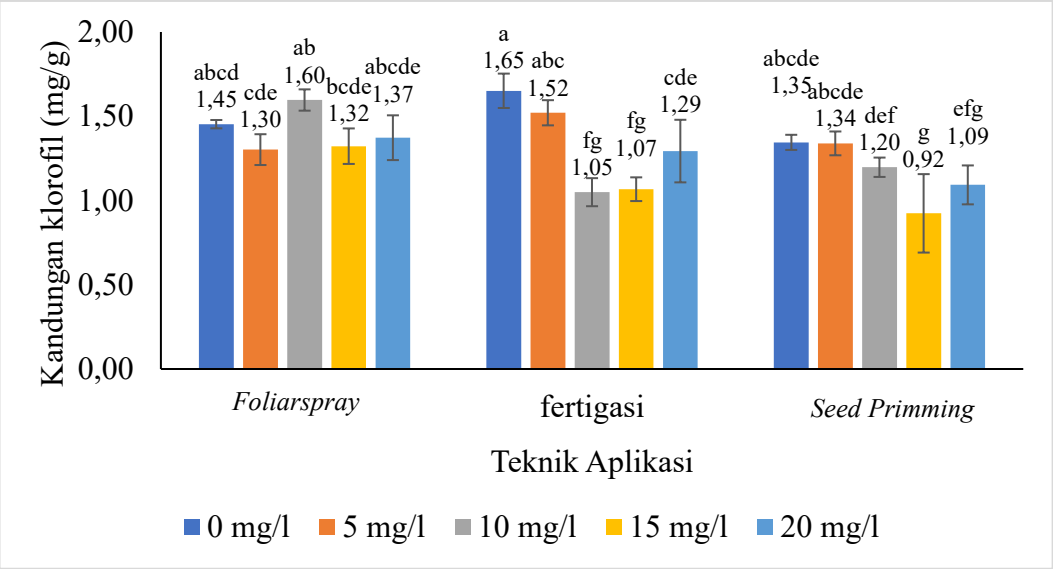
bobot kering pada perlakuan Zn 5 mg/l menunjukkan bahwa konsentrasi tersebut merupakan taraf optimum dalam mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman kangkung. Kondisi tersebut diduga terjadi karena Zn dapat meningkatkan pembentukan klorofil dan aktivitas fotosintesis sehingga asimilat yang dihasilkan tanaman menjadi lebih tinggi dan terakumulasi dalam bentuk biomassa kering. Hal ini sesuai dengan pendapat Hassan *et al*. (2019) yang menyatakan bahwa aplikasi Zn pada konsentrasi sesuai dapat meningkatkan pertumbuhan vegetatif, kandungan klorofil, dan produksi biomassa tanaman melalui peningkatan aktivitas fisiologis tanaman. Pada konsentrasi Zn yang lebih tinggi, tanaman diduga mengalami cekaman fisiologis yang menyebabkan efisiensi metabolisme menurun sehingga akumulasi bahan kering menjadi lebih rendah. Pemberian Zn berlebih dapat menimbulkan efek toksisitas yang menghambat pertumbuhan tanaman sehingga efisiensi metabolisme tanaman menurun (Imran *et al*., 2020).

Teknik aplikasi fertigasi menghasilkan bobot kering tertinggi yaitu 7,14 g, diikuti *seed priming* sebesar 6,90 g dan *foliar spray* sebesar 6,76 g. Namun demikian, hasil analisis ragram menunjukkan bahwa perbedaan teknik aplikasi tidak memberikan pengaruh nyata terhadap bobot kering tanaman kangkung varietas Serimpi. Hal ini menunjukkan bahwa ketiga metode aplikasi memiliki kemampuan yang relatif sama dalam mendukung akumulasi bahan kering tanaman selama fase pertumbuhan *microgreens* (Li *et al*., 2021).

4.4. Analisis kandungan klorofil (mg/g)

Berdasarkan hasil analisis ragam menunjukan bahwa perlakuan konsentrasi Zn dan teknik aplikasi berpengaruh nyata terhadap kandungan klorofil tanaman kangkung. Interaksi perlakuan konsentrasi Zn dan teknik aplikasi yang berbeda berpengaruh nyata pada kandungan klorofil tanaman kangkung. Hasil diagram interaksi konsentrasi zinc dan teknik aplikasi terhadap kandungan klorofil pada tanaman kangkung.

Diagram interaksi konsentrasi Zinc dan Teknik Aplikasi terhadap kandungan klorofil tanaman kangkung Var. Serimpi dapat dilihat pada Ilustrasi 1.



Ilustrasi 1. Diagram Interaksi Biofortifikasi Zn dan Teknik Aplikasi Terhadap Kandungan Klorofil

Berdasarkan Ilustrasi 1, pada teknik aplikasi *foliar spray* dengan konsentrasi Zinc 10 mg/l tidak berbeda nyata dibandingkan 0 mg/l, 15 mg/l dan 20 mg/l, namun berbeda nyata dengan 5 mg/l. Pada teknik fertigasi dengan konsentrasi 0 mg/l tidak berbeda nyata dengan konsentrasi 5 mg/l, namun berbeda nyata dengan konsentrasi

10 mg/l, 15 mg/l dan 20 mg/l. Pada teknik *seed priming* dengan konsentrasi 0 mg/l, dan 5 mg/l tidak berbeda nyata dengan konsentrasi 10 mg/l, dan 20 mg/l, namun berbeda nyata dengan konsentrasi 15 mg/l. Interaksi antara biofortifikasi Zn dan Teknik Aplikasi memberikan pengaruh terhadap kandungan klorofil tanaman kangkung varietas Serimpi. Perlakuan tanpa pemberian Zn (0 mg/l) dengan metode fertigasi menghasilkan kandungan klorofil tertinggi sebesar 1,6 mg/g, sedangkan kandungan klorofil terendah diperoleh pada perlakuan Zn 10 mg/l dengan metode fertigasi.

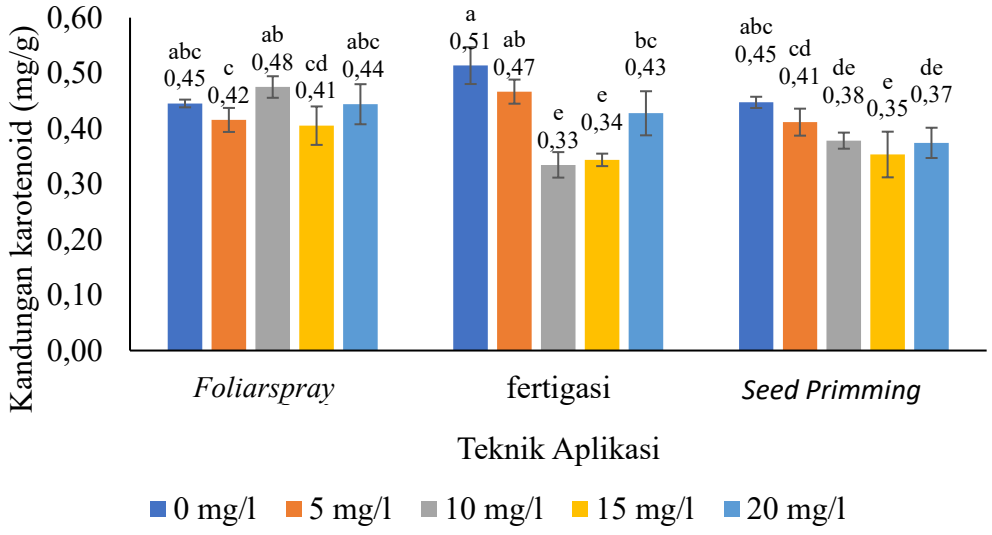
Secara umum, metode *foliar spray* menunjukkan kandungan klorofil yang relatif lebih stabil dibandingkan metode fertigasi dan *seed priming*. Hal ini diduga karena aplikasi Zn melalui daun memungkinkan unsur Zn lebih cepat diserap dan dimanfaatkan dalam proses pembentukan klorofil serta fotosintesis tanaman. Zn berperan sebagai unsur mikro esensial dalam aktivasi enzim, pembentukan prekursor klorofil, serta menjaga stabilitas membran kloroplas sehingga mampu meningkatkan efisiensi fotosintesis tanaman (Hafeez *et al*., 2021).

Kestabilan kadar klorofil pada *microgreens* kangkung sangat dipengaruhi oleh ketepatan Zn dengan konsentrasi 5 mg/l, sehingga asupan yang stabil akan membantu daun memproduksi zat hijaunya dengan lancar. Hal ini sesuai dengan pendapat Hafeez *et al*. (2021) yang menyatakan bahwa stabilitas klorofil pada konsentrasi 5 mg/l memungkinkan proses penyerapan cahaya dan reaksi fotosintesis berlangsung secara maksimal. Konsentrasi Zn yang disiramkan terlalu berlebihan (seperti pada konsentrasi 10–20 mg/l), jaringan daun justru mengalami keracunan logram yang merusak kloroplas itu sendiri. Hal ini sesuai dengan

pendapat Rehman *et al*. (2018) yang menyatakan bahwa pemberian Zn dalam konsentrasi lebih dari 5 mg/l dapat menyebabkan gangguan fisiologis tanaman dan menurunkan pembentukan pigmen fotosintetik.

4.5. Analisis kandungan karotenoid (mg/g)

Berdasarkan hasil analisis ragam menunjukan bahwa perlakuan konsentrasi Zn, teknik pengaplikasian dan interaksi konsentrasi Zn dan teknik aplikasi berpengaruh nyata terhadap kandungan Karotenoid tanaman kangkung varietas Serimpi terhadap parameter kandungan Karotenoid tanaman Kangkung. Hasil diagram interaksi konsentrasi zinc dan teknik aplikasi terhadap kandungan Karotenoid tanaman kangkung varietas Serimpi. Diagram interaksi konsentrasi Zinc dan Teknik Aplikasi terhadap kandungan karotenoid tanaman kangkung Var. Serimpi dapat dilihat pada Ilustrasi 2.



Ilustrasi 2. Diagram Interaksi Biofortifikasi Zn dan Teknik Aplikasi Terhadap Kandungan Karotenoid

Berdasarkan Ilustrasi 2, pada teknik aplikasi *foliar spray* dengan konsentrasi Zinc 10mg/l, tidak berbeda nyata dengan konsentrasi 0 mg/l dan 20 mg/l namun berbeda nyata dengan konsentrasi 5 mg/l, dan 15 mg/l. Pada teknik fertigasi dengan konsentrasi 0 mg/l tidak berbeda nyata dibandingkan dengan konsentrasi 5 mg/l namun berbeda nyata dengan konsentrasi 10 mg/l, 15mg/l, dan 20 mg/l. Pada teknik *seed priming* dengan konsentrasi 0 mg/l tidak berbeda nyata dibandingkan dengan konsentrasi 5 mg/l, namun berbeda nyata dengan konsentrasi 10 mg/l, 15 mg/l, dan 20 mg/l. Kandungan karotenoid dengan teknik aplikasi daun memungkinkan unsur zn yang dapat lebih mudah diserap dan dimanfaatkan dalam fotosintetik. Hal ini diduga karena aplikasi Zn melalui daun memungkinkan unsur Zn lebih cepat diserap dan dimanfaatkan dalam pembentukan pigmen fotosintetik seperti karotenoid yang berperan dalam proses fotosintesis dan perlindungan sel tanaman dari stres oksidatif (Poudel *et al*., 2023).

Zn memiliki peran yang penting dalam pembentukan pigmen fotosintetik terutama dalam meningkatkan aktivitas antioksidan yang mempengaruhi karotenoid. Zn berperan penting dalam sintesis pigmen fotosintetik serta meningkatkan aktivitas antioksidan tanaman sehingga kandungan karotenoid dapat meningkat Hal ini sesuai dengan pendapat (Ayyub *et al*., 2022). Namun, pada konsentrasi Zn yang lebih tinggi lebih dari 5 mg/l terjadi kecenderungan penurunan kandungan karotenoid yang diduga disebabkan oleh akumulasi Zn berlebih sehingga menghambat metabolisme dan menurunkan stabilitas pigmen fotosintetik tanaman. Hal ini sesuai dengan pendapat Raza *et al*. (2020) yang menyatakan bahwa pemberian Zn dalam konsentrasi tinggi 10 – 20 mg/l dapat menyebabkan

cekaman fisiologis dan menurunkan kandungan pigmen fotosintetik akibat gangguan metabolisme sel tanaman.

4.6. Analisis kandungan fenolik (mg GAE/g)

Berdasarkan hasil analisis ragram (Lampiran 8) dapat dilihat bahwa perlakuan konsentrasi Zn berpengaruh nyata terhadap kandungan fenolik tanaman kangkung varietas Serimpi, namun faktor teknik pengaplikasian dan interaksi konsentrasi Zn dan Teknik Aplikasi tidak memberikan pengaruh nyata terhadap parameter kandungan fenolik tanaman Kangkung. Hasil kandungan fenolik tanaman kangkung varietas Serimpi pada perlakuan Zn dan teknik aplikasi terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Kandungan Fenolik Tanaman Kangkung Var. Serimpi pada Perlakuan Zn Dan Teknik Aplikasi

Konsentrasi Zinc (Zn)mg/l	Teknik Aplikasi (V)			Rata-rata
	Foliar Spray	Fertigasi	*Seed priming*	
	---------- (mg GAE/g) ----------			
0	10.432,64	11.027,79	14.036,30	11.832,24[a]
5	6.952,12	6.402,87	6.133,67	6.496,22[bc]
10	10.121,26	7.207,74	6.295,86	7.874,95[bc]
15	10.054,51	10.331,99	9.365,66	9.917,38[ab]
20	8.330,41	7.806,35	8.317,27	8.151,34[b]
Rata-rata	9.178,19	8.555,35	8.829,75	

Superskrip berbeda pada kolom rata-rata menunjukkan adanya perbedaan nyata ($p < 0,05$).

Bedasarkan pada Tabel 4. diketahui bahwa perlakuan terbaik dapat dilihat pada konsentrasi Zn 0 mg/l, memiliki hasil 11.832,24 (mg GAE/g), dan pada konsentrasi 15 mg/l memiliki hasil 9.917,38 (mg GAE/g), dibandingkan perlakuan 5 mg/l, 10 mg/l, dan 20 mg/l. Hal ini diduga karena peningkatan konsentrasi *Zinc* (Zn) dalam jaringan tanaman dapat memengaruhi jalur metabolisme sekunder, khususnya biosintesis senyawa fenolik. Tanaman cenderung mengalami stres

fisiologis ringan yang dapat memicu peningkatan produksi senyawa fenolik sebagai mekanisme pertahanan alami terhadap cekaman oksidatif. senyawa fenolik diketahui berfungsi sebagai antioksidan yang berperan dalam menangkal radikal bebas dan melindungi sel tanaman dari kerusakan oksidatif (Sharma *et al*., 2019) yang menyatakan bahwa.

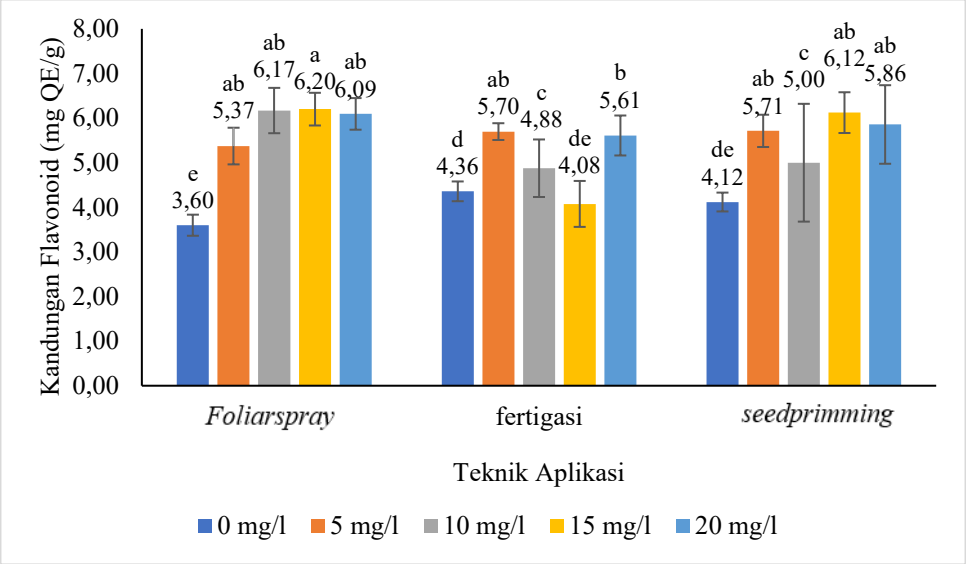
Sementara itu, pemberian Zn pada konsentrasi 5 mg/l dan 10 mg/l diduga mampu meningkatkan stabilitas fisiologis tanaman dan menurunkan tingkat stres oksidatif, sehingga biosintesis senyawa fenolik menjadi lebih rendah. Hal ini sesuai dengan pendapat Khalid *et al*. (2020) yang menyatakan bahwa peningkatan ketersediaan Zn dengan konsentrasi 5 mg/l – 10 mg/l dapat menurunkan akumulasi senyawa fenolik pada beberapa tanaman akibat berkurangnya tingkat cekaman oksidatif. Pemberian Zn dalam jumlah yang lebih tinggi 20 mg/l diduga mampu memperbaiki sistem metabolisme dan menekan pembentukan *reactive oxygen species* (ROS), sehingga sintesis senyawa fenolik menjadi lebih rendah. Hal ini sesuai dengan pendapat Azeem *et al*. (2021) yang menyatakan bahwa Zn berperan dengan konsentrasi tinggi 20 mg/l dalam meningkatkan efisiensi sistem antioksidan enzimatik tanaman sehingga kebutuhan pembentukan metabolit sekunder non-enzimatik seperti fenolik menjadi menurun.

Teknik aplikasi *foliar spray* menghasilkan kandungan fenolik tertinggi yaitu 9.178,19 mg GAE/g, diikuti *seed priming* sebesar 8.829,75 mg GAE/g dan fertigasi sebesar 8.555,35 mg GAE/g. Meskipun demikian, hasil analisis ragram menunjukkan bahwa perbedaan teknik aplikasi tidak memberikan pengaruh nyata terhadap kandungan fenolik *microgreens* kangkung. Hal ini diduga bahwa

pembentukan senyawa fenolik lebih dipengaruhi oleh tingkat cekaman fisiologis akibat konsentrasi Zn dibandingkan dengan metode aplikasinya. Hal ini sesuai dengan pendapat Azeem *et al*. (2021) yang menyatakan bahwa biofortifikasi Zn berperan dalam menjaga keseimbangan sistem antioksidan tanaman, namun perubahan kandungan fenolik lebih dipengaruhi oleh intensitas cekaman oksidatif daripada teknik aplikasi unsur Zn itu sendiri. Ketiga teknik aplikasi diduga mampu menyediakan Zn dengan tingkat efisiensi yang relatif sama sehingga tidak menimbulkan perbedaan respons metabolisme sekunder yang nyata pada tanaman. Hal ini sesuai dengan pendapat Kyriacou *et al*. (2019) yang menyatakan bahwa akumulasi senyawa fenolik pada *microgreens* lebih dipengaruhi oleh faktor genetik dan kondisi fisiologis tanaman dibandingkan metode pemberian unsur hara.

4.7. Analisis kandungan Flavonoid (mg QE/g)

Berdasarkan hasil analisis ragam menunjukan bahwa bahwa perlakuan konsentrasi Zn dan interaksi konsentrasi Zn dan teknik aplikasi memberikan pengaruh nyata terhadap parameter kadar Zn pada tanaman kangkung, namun faktor teknik aplikasi tidak berpengaruh nyata terhadap kandungan flavonoid tanaman kangkung varietas Serimpi Hasil Diagram interaksi konsentrasi Zinc dan Teknik Aplikasi terhadap kandungan flavonoid kangkung varietas Serimpi terlihat pada ilustrasi 3. Diagram interaksi konsentrasi Zinc dan Teknik Aplikasi terhadap kandungan flavonoid tanaman kangkung Var. Serimpi dapat dilihat pada Ilustrasi 3



Ilustrasi 3. Diagram Interaksi Biofortifikasi Zn dan Teknik Aplikasi Terhadap Kandungan Flavonoid

Berdasarkan Ilustrasi 3, pada teknik aplikasi *foliar spray* dengan konsentrasi Zinc 15mg/l tidak berbeda nyata dengan konsentrasi 5 mg/l, 10 mg/l, dan 20 mg/l namun berbeda nyata dengan konsentrasi 0 mg/l. Perlakuan teknik fertigasi dengan konsentrasi 5 mg/l tidak berbeda nyata dengan konsentrasi 20 mg/l, namun konsentrasi 5mg/l berbeda nyata dengan konsentrasi 0 mg/l, 10mg/l, dan 15 mg/l. Pada teknik *seed priming* dengan konsentrasi 15mg/l tidak berbeda nyata dengan perlakuan 5 mg/l, dan 20 mg/l namun konsentrasi 15 mg/l berbeda nyata dengan konsentrasi 0 mg/l dan 10 mg/l.

Hal ini diduga karena Zn berperan dalam aktivasi enzim dan sintesis senyawa metabolit sekunder, termasuk flavonoid, yang berfungsi sebagai antioksidan alami tanaman dalam menghadapi cekaman lingkungan. Unsur Zn mampu meningkatkan biosintesis senyawa fenolik dan flavonoid melalui peningkatan aktivitas enzim yang terlibat dalam jalur metabolisme sekunder tanaman (Khalid *et al*., 2021).

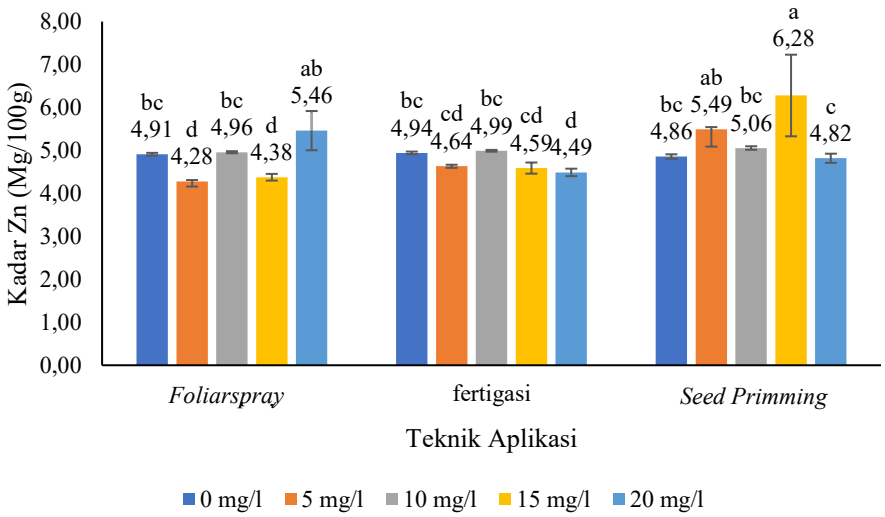
Namun pada beberapa perlakuan tertentu terjadi penurunan kandungan flavonoid, terutama pada metode fertigasi konsentrasi 15 mg/l, yang diduga terjadi ketidakseimbangan penyerapan unsur Zn sehingga menghambat proses metabolisme tanaman. Hal ini sesuai dengan pendapat Sharma *et al*. (2019) yang menyatakan bahwa pemberian Zn dalam jumlah berlebih yaitu lebih dari 10 mg/l menyebabkan gangguan fisiologis dan menurunkan akumulasi metabolit sekunder akibat terjadinya cekaman oksidatif pada jaringan tanaman.

Kadar flavonoid justru merosot tajam pada fertigasi konsentrasi tinggi lebih dari 10 mg/l karena akar yang terus-menerus terpapar atau terendam logram berlebih dapat mengalami keracunan dan stres oksidatif. Hal ini seperti pendapat Fadhlullah *et al.* (2020) yang menyatakan bahwa paparan logram berat secara berlebihan dapat memicu gangguan fisiologis pada tanaman akibat meningkatnya stres oksidatif. Akibat kondisi tersebut, tanaman terpaksa mengalokasikan sebagian besar energinya untuk proses pemulihan dan mempertahankan kelangsungan hidup melalui mekanisme pertahanan (*survival mechanism*), sehingga alokasi energi dan bahan baku untuk biosintesis senyawa metabolit sekunder, termasuk flavonoid, menjadi berkurang. Cekaman lingkungan dapat mengalihkan metabolisme tanaman dari produksi senyawa sekunder menuju aktivitas pertahanan dan pemulihan diri Shah *et al*. (2019).

4.8. Kadar Zn (Mg/100g)

Berdasarkan hasil analisis ragam menunjukkan dilihat bahwa perlakuan konsentrasi Zn tidak berpengaruh nyata terhadap kandungan fenolik tanaman

kangkung varietas Serimpi, namun faktor teknik pengaplikasian dan interaksi konsentrasi Zn dan teknik aplikasi memberikan pengaruh nyata terhadap parameter kadar Zn pada tanaman kangkung. Hasil diagram interaksi konsentrasi zinc dan teknik aplikasi terhadap kadar Zn tanaman kangkung varietas Serimpi terlihat pada Ilustrasi 4. Diagram interaksi konsentrasi Zinc dan Teknik Aplikasi terhadap kandungan Zn tanaman kangkung Var. Serimpi dapat dilihat pada Ilustrasi 4.



Ilustrasi 4. Diagram Interaksi Biofortifikasi Zn dan Teknik Aplikasi Terhadap Kadar Zn

Berdasarkan Ilustrasi 4. pada teknik aplikasi *foliar spray* dengan konsentrasi Zinc 20 mg/l tidak berbeda nyata dengan 0 mg/l dan 10 mg/l, namun kosentrasi 15 mg/l berbeda nyata dengann konsentrasi 5 mg/l, dan 15 mg/l. pada teknik fertigasi dengan konsentrasi 10 mg/l tidak berbeda nyata dengan konsentrasi 0 mg/l 5 mg/l, dan 10 mg/l, namun konsentrasi 10 mg/l berbeda nyata dengan konsentrasi 20 mg/l. Pada teknik *seed priming* dengan konsentrasi 15 mg/l tidak berbeda nyata dengan konsentrasi 5 mg/l, namun konsentrasi 15 mg/l berbeda nyata dengan konsentrasi 0 mg/l, 10 mg/l, dan 20 mg/l.

Secara umum, peningkatan konsentrasi Zn perlakuan kontrol cenderung meningkatkan kadar Zn tanaman terutama pada metode *seedpriming*, karena perlakuan perendaman benih mampu meningkatkan efisiensi penyerapan Zn sejak awal proses perkecambahan hingga fase pertumbuhan *microgreens*. Tingginya akumulasi Zn pada jaringan tanaman diduga karena unsur Zn mudah tersedia dan terserap secara optimal sehingga mendukung proses fisiologis tanaman. Unsur Zn berperan penting dalam aktivitas enzim, sintesis protein, dan metabolisme tanaman sehingga meningkatkan akumulasi Zn pada jaringan tanaman apabila diberikan dalam konsentrasi optimum (Cakmak dan Kutman, 2018). Pada perlakuan Zn teknik aplikasi *seed primming* dengan hasil 6,28 mg/100g termasuk kedalam kategori tinggi. Hal ini sesuai dengan pendapat Sturikova *et al*. (2018) yang menyatakan bahwa andungan Zn dapat digunakan sebagai pembanding secara operasional, yaitu kandungan <3,0 mg/100g dikategorikan rendah, 3,0–5,0 mg/100g dikategorikan sedang, dan >5,0 mg/100g dikategorikan tinggi.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, perlakuan konsentrasi Zn memengaruhi bobot segar, bobot kering, kadar klorofil, karotenoid, flavonoid, dan fenolik secara nyata. Konsentrasi 5 mg/l sebagai taraf optimum untuk meningkatkan pertumbuhan biomassa. Perbedaan teknik aplikasi mempengaruhi kadar klorofil, karotenoid, dan kadar Zn tanaman, dengan metode *seed priming* menjadi teknik paling efektif dalam meningkatkan akumulasi Zn dibandingkan fertigasi. Sesuai dengan hipotesis ketiga, terdapat interaksi nyata antara konsentrasi dan teknik aplikasi pada kandungan klorofil, karotenoid, flavonoid, dan kadar Zn, di mana kombinasi *seed priming* dengan konsentrasi Zn 15 mg/l menghasilkan kadar Zn tertinggi pada jaringan *microgreens* kangkong.

5.2. Saran

Penggunaan Zn perlu disesuaikan dengan konsentrasi optimum untuk menghindari dampak negatif terhadap pertumbuhan tanaman, terutama pada aplikasi fertigasi dengan konsentrasi tinggi yang berpotensi menyebabkan toksisitas dan menghambat penyerapan unsur hara. Penelitian selanjutnya disarankan mengkaji konsentrasi dan teknik aplikasi Zn pada skala budidaya yang lebih luas guna memperoleh rekomendasi yang lebih aplikatif dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

Alghifara, R. R., dan F. Z. Kumala. 2022. Pelatihan budidaya sayuran hidroponik menggunakan wick system dan nutrient film technique system sebagai usaha pemberdayaan masyarakat. Empowerment: Jurnal Pengabdian Masyarakat, 5 (2): 187–196. https://doi.org/10.25134/empowerment.v5i02.4782

Aulia, S., A. Ansar., dan G. M. D. Putra. 2019. Pengaruh intensitas cahaya lampu dan lama penyinaran terhadap pertumbuhan tanaman kangkung (*Ipomoea reptans* Poir.) pada sistem hidroponik indoor. Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem, 7 (1): 43–51. https://doi.org/10.29303/jrpb.v7i1.100

Azeem, M., Shoukat, R.F., dan Ahmad, R. 2021. Zinc regulates antioxidant defense system and suppresses oxidative stress in plants. South African Journal of Botany, 140: 430–438. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.11.026

Bhardwaj, A. K., Chejara, S., Malik, K. M., Kumar, A., & Yadav, R. K. R. (2022). Agronomic biofortification of food crops: An emerging opportunity for global food and nutritional security. Frontiers in Plant Science, 13, 1055278. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1055278

Buturi, C. V., Di Gioia, F., Rouphael, Y., Rivera, C. M., dan Kyriacou, M. C. 2023. Agonomic biofortification of leafy vegetabels with Zinc: approaches and challenges. Frontiers in Plant Science, 14: 115–128. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1150128

Buturi, C. V., Mauro, R. P., Fogliano, V., Leonardi, C., dan Giuffrida, F. 2023. Iron and zinc biofortification and bioaccessibility in carrot 'Dordogne': comparison between foliar applications of *chelate and sulphate* forms. Scientia Horticulturae, 312: 111851. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.111851

Cakmak, I., dan Kutman, U. B. 2018. Agonomic biofortification of cereals with zinc: A review. *European Journal of Soil Science*, 69 (1), 172–180. https://doi.org/10.1111/ejss.12437

Chasapis, C. T., Loutsidou, A. C., Spiliopoulou, C. A., dan Stefanidou, M. E. 2020. Zinc and human health: an update. Archives of Toxicology, 94 (5): 1443–1459. https://doi.org/10.1007/s0204-019-02618-6

Chasapis, C. T., Ntoupa, P.-S. A., Spiliopoulou, C. A., dan Stefanidou, M. E. 2020. Recent aspects of the effects of zinc on human health. Archives of

Toxicology, 94 (5): 1443–1460. https://doi.org/10.1007/s00204-020-02702-9

Di Gioia, F., Petropoulos, S. A., Ozores-Hampton, M., Morgan, K. T., dan Rouphael, Y. 2019. Biofortification of vege*tabel* crops for improving human health: a review. International Journal of Environmental Research and Public Health, 16 (16): 2830. https://doi.org/10.3390/ijerph16162830

Di Gioia, F., Petropoulos, S. A., Ozores-Hampton, M., Morgan, K., dan Rosskopf, E. N. 2019. Zinc and iron agonomic biofortification of *Brassicaceae microgreens*. Agonomy, 9 (11) : 677. https://doi.org/10.3390/agronomy 9110677

D'Imperio, M., Durante, M., Gonnella, M., Renna, M., Montesano, F. F., Parente, A., dan Serio, F. 2022. Enhancing the nutritional value of *Portulaca oleracea* L. by using soilless agonomic biofortification with zinc. Food Research International, 155: 111057. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111057

Fadhlullah, H. R., Rusmiyanto, E., dan Zakiah, Z. 2020. Respon morfologi, biomassa, dan kandungan klorofil daun mimosa air (*Neptunia oleracea* L.) pada air yang terpapar merkuri klorida ($HgCl_2$). Jurnal *Protobiont*, 9 (3): 206–213. https://doi.org/10.26418/protobiont.v9i3.47574

Hafeez, M. B., Raza, A., Zahra, N., Shaukat, K., Akram, M. Z., Iqbal, S., & Hasanuzzaman, M. (2021). Role of zinc in plant gowth and metabolism during abiotic stress. Frontiers in Plant Science, 12, 767817. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.767817

Hanum, N. N., dan Jazilah, S. 2021. Pengaruh konsentrasi dan interval pemberian POC morinsa terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman kale (*Brassica oleracea* var. acephala). Biofarm: Jurnal Ilmiah Pertanian, 17 (1): 14–22. https://doi.org/10.31941/biofarm.v17i1.1436

Hassan, M.U., Aamer, M., Chattha, M.U., Haiying, T., Shahzad, B., Barbanti, L., dan Guoqin, H. 2019. Hassan, M.U., Aamer, M., Chattha, M.U., Haiying, T., Shahzad, B., Barbanti, L., dan Guoqin, H. 2019. The critical role of zinc in plants facing the drought stress. Agiculture, 9(3): 35., 9 (3): 35. https://doi.org/10.3390/agriculture9030035

Hendry, G. A. F., dan Price, A. H. (1993). Stress indicators: Chlorophylls and carotenoids. In G. A. F. Hendry & J. P. Grime (Eds.), Methods in comparative plant ecology . 148–152. Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-011-1494-3

Imran, M., Hussain, S., Rana, M.S., Saleem, M.H., Rasul, F., Ali, K.H., dan Potcho, M.P. 2020. Zinc biofortification strategies for enhancing crop productivity and nutritional quality of cereals. Sustainability, 12 (20) : 8333. https://doi.org/10.3390/su12208333

Kaur, H., Sharma, S., dan Kaur, G. 2019. Zinc application effects on plant gowth, enzymatic activities, and nutrient uptake in crops: A review. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 8 (3) : 4123–4128.

Khan, M.N., Mobin, M., Abbas, Z.K., dan Siddiqui, M.H. 2022. Role of secondary metabolites in plant defense against environmental stresses. Plant Physiology and Biochemistry, 172: 591–600. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.01.034

Khoirunnisa, R., Pertiwi, S., dan Widodo, R. 2023. Pengaruh pemberian seng (Zn) terhadap pertumbuhan dan ketahanan tanaman hortikultura. Jurnal Ilmiah Pertanian Tropika, 8 (1) : 45–53.

Khoirunnisa, A., Nur, K. S., dan Rahmasari, W. 2023. Analisis kadar seng (Zn) dan besi (Fe) pada kangkung air (*Ipomoea aquatica* Forssk.) berdasarkan tempat tumbuh dengan metode AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*). Bioma: Berkala Ilmiah Biologi, 25 (2) : 106–112. https://doi.org/ 10.14710/bioma.2023.57317

Kumar, P., 2024. *Microgreens*: Functional Food for Nutrition and Dietary.

Kyriacou, M. C., El-Nakhel, C., dan Pannico, A., 2019. Genotype-Specific Modulatory Effects of Select Spectral Bandwidths on the Nutritive and Phytochemical Composition of *Microgreens*. Frontiers in Plant Science, 10, 1501. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01501

Lestari, M. W., dan Pujiwati, I. 2022. Uji pertumbuhan dan kualitas microgeen kangkung (*Ipomoea reptans*) akibat pemberian berbagai media tanam dan tingkat kerapatan tanaman. Agonisma, 10 (2).

Linnaeus, C. 1753. Species Plantarum. Laurentius Salvius. Stockholm.

Li, T., Lalk, G. T., dan Bi, G. 2021. Fertilization and Pre-Sowing Seed Soaking Affect Yield and Mineral Nutrients of Ten Microgeen Species. Horticulturae, 7(2), 14. https://doi.org/10.3390/horticulturae7020014

Muchjajib, U. S., Suknikom, J., dan Butsai, S. 2015. Evaluation of organic media alternatives for the production of *microgreens* in Thailand. Acta Horticulturae, 1102: 157–162. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1102.19

Pristiana, D. Y., Susanti, S., dan Nurwantoro, N. 2017. Aktivitas antioksidan dan kadar fenol berbagai ekstrak daun kopi (*Coffea* sp.): potensi aplikasi bahan alam untuk fortifikasi pangan. Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan, 6 (2) : 89–92. https://doi.org/10.17728/jatp.205

Poudel, P. F., Di Gioia, F., Lambert, J. D., dan Connolly, E. L. 2023. Zinc biofortification through seed nutri-priming using alternative zinc sources and concentration levels in pea and sunflower *microgreens*. Frontiers in Plant Science, 14: 1177844. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1177844

Poudel, P., Di Gioia, F., Lambert, J. D., dan Connolly, E. L. 2023. Zinc Biofortification through Seed Nutri-Priming Using Alternative Zinc Sources and Concentration Levels in Pea and Sunflower *Microgreens*. Frontiers in Plant Science, 14, 1177844. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1177844

Poudel, P., Connolly, E. L., Kwasniewski, M., Lambert, J. D., dan Di Gioia, F. 2024. Zinc biofortification via fertigation using alternative zinc sources and concentration levels in pea, radish, and sunflower *microgreens*. Scientia Horticulturae, 331: 113098.

Puccinelli, M., Malorgio, I., Rosellini, B., dan Pezzarossa, B. 2019. Production of selenium-biofortified *microgreens* from selenium-enriched seeds of basil. Journal of the Science of Food and Agiculture, 99 (12) : 5601–5605. https://doi.org/10.1002/jsfa.9814

Poudel, P., Di Gioia, F., Lambert, J. D., dan Connolly, E. L. 2023. Zinc Biofortification through Seed Nutri-Priming Using Alternative Zinc Sources and Concentration Levels in Pea and Sunflower *Microgreens*. Frontiers in Plant Science, 14, 1177844. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1177844

Rehman, A., Farooq, M., Naveed, M., Ozturk, L., dan Nawaz, A. 2018. *Zinc nutrition in wheat-based cropping systems. Plant and Soil*, 422: 283–315. https://doi.org/10.1007/s11104-017-3407-4

Sánchez-Moreno, C., Larrauri, J. A., dan Saura-Calixto, F. 1998. A procedure to measure the antiradical efficiency of polyphenols. Journal of the Science of Food and Agiculture, 76 (2) : 270–276. https://doi.org/10.1002/(SICI)10970010(199802)76:2

Sharma, A., Shahzad, B., Rehman, A., Bhardwaj, R., Landi, M., dan Zheng, B. 2019. Response of phenylpropanoid pathway and the role of polyphenols in plants under abiotic stress. *Molecules*, 24 (13) : 2452. https://doi.org/10.3390/molecules24132452

Sunar, S., Hidayat, D., dan Nugaha, M. 2021. Defisiensi unsur mikro pada tanaman sayuran dan pengaruhnya terhadap hasil panen. Jurnal Pertanian Tropis dan Subtropis, 18 (2) : 91–98.

Sunar, S. T. R., Gustina, N., dan Nikmah, N. 2021. Respon pertumbuhan, produksi, dan kandungan seng (Zn) tanaman padi (*Oryza sativa* L.) terhadap teknik pemberian dan konsentrasi pupuk zink sulfat. Agisia: Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian, 14 (1).

Sutrisno, A., Putra, D. R., dan Fitriani, E. 2021. Adaptasi pertumbuhan kangkung darat (*Ipomoea reptans Poir*.) pada berbagai kondisi media dan frekuensi penyiraman. Jurnal Agoteknologi Tropika, 10 (2) : 115–123.

Sturikova, H., Krystofova, O., Huska, D., dan Adam, V. 2018. Zinc, zinc nanoparticles and plants. Journal of Hazardous Materials, 349, 101–110. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.01.040

Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. Methods in Enzymology, *299*, 152–178. https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1

Tavan, M., Wee, B., Fuentes, S., Pang, A., Brodie, G., Viejo, C. G., dan Grupta, D. 2024. Biofortification of kale *microgreens* with selenate-selenium using two delivery methods: selenium-rich soilless medium and foliar application. Scientia Horticulturae, 323: 112522. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112522

Thepsilvisut, O., Sukree, N., Chutimanukul, P., Athinuwat, D., Chuaboon, W., Poomipan, P., dan Ehara, H. (2023). Efficacy of agicultural and food wastes as the gowing media for sunflower and water spinach *microgreens* production. Horticulturae, 9 (8), 876. https://doi.org/10.3390/horticulturae9080876

Velázquez-Gramboa, M. C., Chávez-Arias, C. C., dan Lara-Herrera, A. 2021. Agonomic zinc biofortification through fertigation improves gowth and

nutritional quality in leafy vege*tabel*s. Agonomy Journal, 113 (6): 2721–2732. https://doi.org/10.1002/agj2.20815

Velázquez-Gramboa, M. C., Rodríguez-Hernández, L., Abud-Archila, M., Gutiérrez-Miceli, F. A., González-Mendoza, D., Valdez-Salas, B., González-Terreros, E., dan Luján-Hidalgo, M. C. 2021. Agonomic biofortification of Stevia rebaudiana with zinc oxide (ZnO) phytonanoparticles and antioxidant compounds. Sugar Tech, 23 (2): 453– 460. https://doi.org/10.1007/s12355020-00889-w

Wessels, I., Fischer, H. J., dan Rink, L. 2021. Dietary and physiological effects of zinc on the immune system. Annual Review of Nutrition, 41, 133-175. https://doi.org/10.1146/annurev-nutr-122019-120635

Widiwurjani, I., Purwanti, N., dan Sari, D. R. 2019. Studi pertumbuhan dan kandungan nutrisi *microgreens* sayuran tropis. Jurnal Ilmiah Hijau Cendekia, 4(1), 34–38. https://doi.org/10.32503/hijau.v4i1.471.

Widiwurjani, W., Guniarti, G., Andansari, P. 2019. Status kandungan sulforaphane *microgreens* tanaman brokoli (*Brassica oleracea* L.) pada berbagai media tanam dengan pemberian air kelapa sebagai nutrisi. Jurnal Ilmiah Hijau Cendekia, 4(1): 34–38. https://doi.org/10.32503/hijau.v4i1.471

Yani, A., dan Yenisbar, Y. 2023. Pelatihan tentang budidaya microgeen dan pemanfaatannya dalam pengadaan sayuran di era new normal COVID-19 di Desa Bojong Gede, Kecamatan Bojong Gede, Bogor. Jurnal Pengabdian Pasca Unisti, 1(1): 13–30. https://doi.org/10.48093/jurdianpasti.v1i1.128