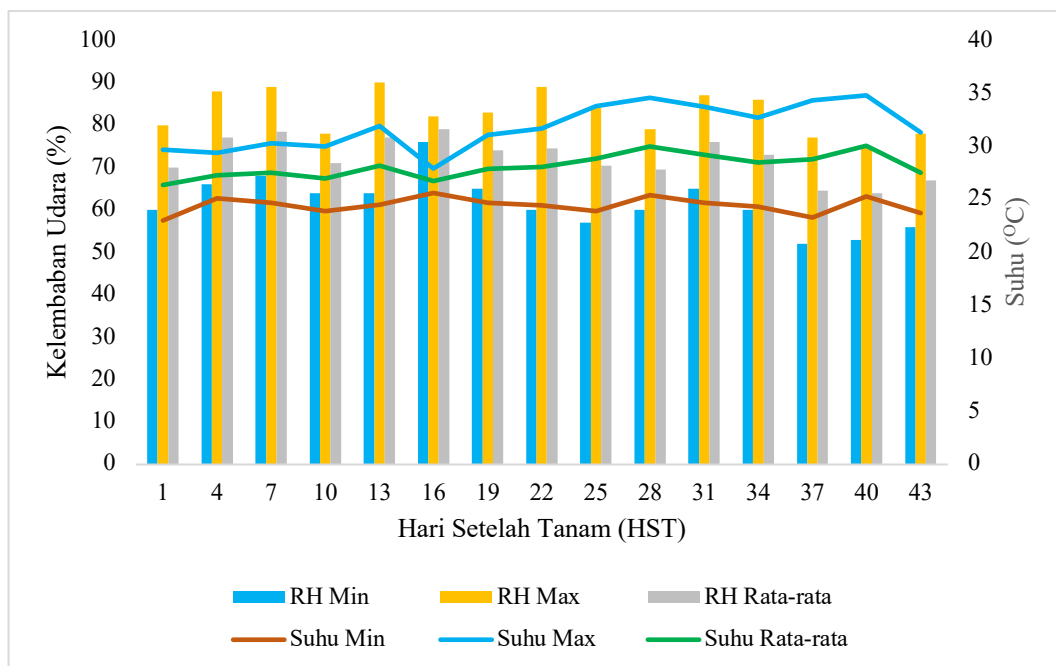


BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Kondisi Umum Penelitian

Kondisi lingkungan di dalam *greenhouse* hidroponik vertikal Fakultas Peternakan dan Pertanian, Universitas Diponegoro berupa pengambilan data suhu dan kelembapan di dalam *greenhouse* menggunakan data minimum dan maksimum. Rata-rata suhu harian di dalam *greenhouse* berkisar 28,12°C, sedangkan kelembapan udara harian berkisar 72,37%. Data suhu dan kelembapan *greenhouse* dapat dilihat pada Ilustrasi 2.



Ilustrasi 2. Grafik suhu dan kelembapan udara minimum dan maksimum di *Greenhouse* Hidroponik Vertikal Fakultas dan Peternakan dan Pertanian, Universitas Diponegoro

Berdasarkan Ilustrasi 2 suhu pada *greenhouse* memiliki rata-rata suhu minimum 24,43°C dan suhu maksimum 31,81°C. Tanaman selada dapat tumbuh optimal pada suhu udara berkisar 18-24°C karena pada kisaran suhu tersebut proses penyerapan nutrisi dan fotosintesis berlangsung dengan baik. Hal ini sesuai dengan pendapat Mardiansah *et al.* (2024) yang menyatakan bahwa tanaman selada dapat tumbuh optimal pada suhu udara berkisar 18-24°C karena pada kisaran suhu tersebut proses penyerapan nutrisi dan fotosintesis berlangsung dengan baik. Suhu merupakan salah satu faktor lingkungan yang sangat memengaruhi pertumbuhan tanaman selada hidroponik di dalam *greenhouse*. Hal ini sesuai dengan pendapat Herdiyanto *et al.* (2021) yang menyatakan bahwa Suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan pertumbuhan terhambat, daun cepat layu, dan meningkatkan risiko terjadinya bolting.

Kelembapan relatif (RH) di dalam *greenhouse* hidroponik vertikal memiliki rata-rata kelembapan minimum 61,73% dan kelembapan maksimum 83,00%. Kelembapan udara yang optimal untuk budidaya selada merah hidroponik di dalam *greenhouse* berkisar antara 60-80% untuk menjaga proses transpirasi dan penyerapan nutrisi tanaman berlangsung dengan baik. Hal ini sesuai dengan pendapat Derafi *et al.* (2024) yang menyatakan bahwa kelembapan udara di dalam *greenhouse* merupakan faktor penting dalam budidaya selada merah hidroponik karena berpengaruh terhadap proses transpirasi dan pertumbuhan tanaman. *greenhouse* dengan kondisi kelembapan yang sesuai membuat tanaman dapat tumbuh lebih segar, dan daun tidak mudah layu, kelembapan yang terlalu tinggi dapat memicu serangan penyakit jamur, sedangkan kelembapan yang terlalu rendah

dapat meningkatkan laju penguapan sehingga tanaman mudah mengalami stres air. Hal ini sesuai dengan pendapat Jonet *et al.* (2024) yang menyatakan bahwa kelembapan yang terlalu rendah dapat menyebabkan tanaman cepat layu, sedangkan kelembapan yang terlalu tinggi dapat meningkatkan risiko serangan jamur dan penyakit tanaman, sehingga pertumbuhan selada hidroponik tidak optimal.

4.2. Rekapitulasi Hasil Analisis Ragam

Berdasarkan uji lanjut BNT pada seluruh parameter penelitian respon pertumbuhan, hasil dan kualitas selada merah (*Lactuca sativa* L.) dalam sistem hidroponik vertikal terhadap pemberian formulasi nutrisi dan konsentrasi nanosilika, diperoleh hasil pada rekapitulasi di Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Analisis Ragam Seluruh Parameter Pertumbuhan, Fisiologis dan Produksi Selada Merah

Parameter pengamatan	Perlakuan		
	Formulasi Nutrisi (P1, P2, P3, P4)	Konsentrasi Nanosilika (N0, N1, N2, N3)	Interaksi
Tinggi tanaman 14 HST	*(a/ab/c/bc)	tn	tn
Tinggi tanaman 28 HST	*(a/a/b/b)	tn	tn
Tinggi tanaman 42 HST	*(a/b/d/c)	tn	tn
Jumlah daun	*(a/b/c/c)	*(ab/b/a/b)	tn
Panjang akar	*(a/a/c/b)	tn	tn
Bobot segar akar	*(a/a/b/a)	tn	tn
Bobot kering akar	*(a/b/b/ab)	tn	tn
Bobot segar tajuk	*(a/a/ab/b)	tn	tn
Bobot kering tajuk	*(a/b/b/b)	tn	tn
Laju pertumbuhan nisbi	*(a/b/b/b)	tn	tn
Kadar klorofil total	*(a/b/b/b)	tn	tn
Kadar karotenoid	*(a/b/b/b)	tn	tn
Kadar air	*(b/a/ab/a)	tn	tn
Kerapatan stomata	*(a/ab/a/b)	tn	tn

(*) berpengaruh nyata pada taraf nyata 5%; (tn) tidak berpengaruh nyata

Berdasarkan Tabel 2 dapat diketahui bahwa formulasi nutrisi memberikan pengaruh terhadap parameter tinggi tanaman 14 HST, 28 HST dan 42 HST, jumlah daun, panjang akar, bobot segar akar, bobot kering akar, bobot segar tajuk, bobot kering tajuk, laju pertumbuhan nisbi, kadar klorofil total, kadar karotenoid, kadar air dan kerapatan stomata. Perlakuan konsentrasi nanosilika memberikan pengaruh pada parameter jumlah daun. Interaksi antara perlakuan formulasi nutrisi dan konsentrasi nanosilika tidak memberikan pengaruh pada semua parameter yang diamati pada tanaman selada merah dalam sistem hidroponik vertikal.

4.3. Variabel Pertumbuhan

4.3.1. Tinggi tanaman

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan formulasi nutrisi berpengaruh nyata terhadap tinggi selada merah pada 14 HST, 28 HST, dan 42 HST. Perlakuan konsentrasi nanosilika tidak berpengaruh nyata terhadap tinggi selada merah pada 14 HST, 28 HST maupun 42 HST (Lampiran 5,6, dan 7). Interaksi perlakuan formulasi nutrisi dengan konsentrasi nanosilika tidak berpengaruh signifikan terhadap tinggi selada merah pada 14 HST, 28 HST, dan 42 HST. Hasil uji BNT tinggi tanaman karena pengaruh formulasi nutrisi dan konsentrasi nanosilika dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Tinggi Tanaman Selada Merah dengan Perlakuan Formulasi Nutrisi dan Konsentrasi Nanosilika pada 14 HST, 28 HST, dan 42 HST

Perlakuan	Tinggi Tanaman		
	14 HST	28 HST	42 HST
Formulasi Nutrisi	-----cm-----		
Goodplant	7,75 ^a	19,39 ^a	28,12 ^a
Hoagland	6,61 ^{ab}	18,33 ^a	25,09 ^b
Hewitt	4,68 ^c	10,73 ^b	8,43 ^d
Steiner	5,50 ^{bc}	13,33 ^b	15,18 ^c
Nanosilika(v/v)	-----cm-----		
0%	5,81	14,98	19,01
0,25%	5,96	14,75	19,20
0,50%	6,26	16,09	19,54
0,75%	6,50	15,96	19,06

Angka yang diikuti dengan superskrip berbeda pada kolom rata-rata menunjukkan berbeda nyata menurut Uji Beda Nyata Terkecil ($P < 0,05$)

Berdasarkan Tabel 3 dapat diketahui bahwa perlakuan formulasi nutrisi berpengaruh nyata terhadap tinggi selada merah pada 14 HST, 28 HST, dan 42 HST. Formulasi nutrisi goodplant menunjukkan hasil optimal pada parameter tinggi tanaman 14 HST dengan nilai 7,75 cm tidak berbeda nyata dengan formulasi nutrisi Hoagland (6,61 cm), dan pada parameter tinggi tanaman 28 HST dengan nilai 19,39 cm tidak berbeda nyata dengan formulasi nutrisi Hoagland (18,33 cm), serta menunjukkan hasil tertinggi pada tinggi tanaman 42 HST dengan nilai 28,12 cm, sedangkan formulasi nutrisi Hewitt menunjukkan hasil terendah pada tinggi tanaman 14 HST dengan nilai 4,68 cm tidak berbeda nyata dengan formulasi nutrisi (Steiner 5,50 cm) dan pada parameter tinggi tanaman 28 HST dengan nilai 10,73 tidak berbeda nyata dengan formulasi nutrisi Steiner (13,33 cm), serta menunjukkan hasil terendah pada tinggi tanaman 42 HST dengan nilai 8,43 cm. Hal ini dikarenakan formulasi nutrisi goodplant dan Hoagland mengandung unsur hara

makro dan mikro yang lengkap dan seimbang, yang mendukung pertumbuhan vegetatif tanaman secara optimal seperti kalsium (Ca), nitrogen (N), dan kalium (K) dalam nutrisi goodplant dan Hoagland yang berperan penting dalam pembentukan jaringan tanaman, pembelahan sel, serta peningkatan tekanan turgor sel, yang pada akhirnya meningkatkan tinggi tanaman selada merah. Hal ini sesuai dengan pendapat Munardianto dan Ernita (2022) yang menyatakan bahwa nutrisi goodplant dan Hoagland memiliki kandungan N, K, dan Ca yang tinggi dan seimbang, serta efektif untuk meningkatkan biomassa dan pertumbuhan selada secara hidroponik. Rendahnya tinggi tanaman pada perlakuan formulasi nutrisi Hewitt dan Steiner diduga disebabkan oleh komposisi dan keseimbangan unsur hara yang kurang sesuai dengan kebutuhan pertumbuhan vegetatif selada merah, sehingga pemanjangan jaringan tanaman sehingga pertumbuhan tinggi tanaman menjadi lebih rendah. Hal ini sesuai dengan pendapat Sapkota *et al.* (2019) yang menyatakan bahwa ketersediaan nitrogen, kalium, kalsium, dan magnesium yang lebih rendah atau kurang seimbang dapat menghambat pembentukan klorofil, pembelahan sel, serta pemanjangan jaringan tanaman sehingga pertumbuhan tinggi tanaman menjadi lebih rendah.

Berdasarkan Tabel 3 perlakuan konsentrasi nanosilika tidak memberikan pengaruh nyata terhadap tinggi tanaman diduga karena kebutuhan silika pada tanaman selada merah relatif rendah dibandingkan unsur hara utama lainnya, penyerapan nanosilika oleh tanaman kemungkinan belum berlangsung optimal sehingga belum mampu meningkatkan pertumbuhan tinggi tanaman secara signifikan. Hal ini sesuai dengan pendapat Asetya (2023) yang menyatakan bahwa

pemberian nanosilika pada beberapa tanaman hortikultura tidak selalu memberikan respon nyata terhadap parameter pertumbuhan vegetatif. Tidak adanya interaksi antara formulasi nutrisi dan nanosilika diduga karena pertumbuhan tanaman lebih dipengaruhi oleh ketersediaan unsur hara utama dibandingkan pemberian unsur tambahan seperti silika. Hal ini sesuai dengan pendapat Ainina dan Aini (2019) yang menyatakan bahwa pertumbuhan selada hidroponik lebih dipengaruhi oleh kecukupan unsur hara utama dibandingkan unsur tambahan seperti silika.

4.3.2. Jumlah daun

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan formulasi nutrisi berpengaruh nyata terhadap jumlah daun selada merah (Lampiran 8). Perlakuan konsentrasi nanosilika berpengaruh nyata terhadap jumlah daun selada merah. Interaksi perlakuan formulasi nutrisi dengan konsentrasi nanosilika tidak berpengaruh signifikan terhadap jumlah daun selada merah. Hasil uji BNT jumlah daun karena pengaruh formulasi nutrisi dan konsentrasi nanosilika dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Jumlah Daun Selada Merah dengan Perlakuan Formulasi Nutrisi dan Konsentrasi Nanosilika

Formulasi Nutrisi	Nanosilika (v/v)				Total Rata - rata
	0%	0,25%	0,50%	0,75%	
	-----helai-----				
Goodplant	16,75	15,00	17,75	14,25	15,94 ^a
Hoagland	14,00	13,75	16,50	13,25	14,38 ^b
Hewitt	11,25	11,00	11,25	11,50	11,25 ^c
Steiner	10,25	10,75	11,75	12,00	11,19 ^c
Rata – rata	13,06 ^{ab}	12,63 ^b	14,31 ^a	12,75 ^b	

Angka yang diikuti dengan superskrip berbeda pada kolom dan baris rata-rata menunjukkan berbeda nyata menurut Uji Beda Nyata Terkecil ($P < 0,05$)

Berdasarkan Tabel 4 dapat diketahui bahwa perlakuan formulasi nutrisi berpengaruh nyata terhadap jumlah daun selada merah. Formulasi nutrisi goodplant menunjukkan hasil tertinggi pada parameter jumlah daun dengan nilai 15,94 helai sedangkan formulasi nutrisi Steiner menunjukkan hasil terendah pada parameter jumlah daun dengan nilai 11,19 helai tidak berbeda nyata dengan Hewitt (11,25 helai). Tingginya jumlah daun pada formulasi nutrisi goodplant dikarenakan unsur nitrogen dalam goodplant mampu merangsang aktivitas meristem, pembentukan organ baru, dan mendorong pertumbuhan vegetatif tanaman, termasuk jumlah daun. Hal ini sesuai dengan pendapat Taiz *et al.* (2025) yang menyatakan bahwa nutrisi goodplant mengandung unsur nitrogen yang berperan dalam merangsang pembentukan jaringan meristematik yang akan berkembang menjadi daun. Jumlah daun yang rendah pada perlakuan formulasi nutrisi Steiner dan Hewitt diduga disebabkan oleh respons fisiologis tanaman terhadap keseimbangan ion dalam larutan nutrisi, keseimbangan ion yang kurang sesuai dapat menyebabkan antagonisme hara sehingga penyerapan unsur esensial oleh akar menjadi kurang optimal yang menghambat proses fotosintesis. Hal ini sesuai dengan pendapat Rouphael *et al.* (2022) yang menyatakan bahwa keseimbangan ion dalam larutan nutrisi yang kurang sesuai mengakibatkan produksi fotosintat yang digunakan untuk pertumbuhan vegetatif berkurang sehingga menghambat pembelahan sel, dan pembentukan jaringan baru pada titik tumbuh dan membuat jumlah daun yang terbentuk lebih sedikit.

Berdasarkan Tabel 4 perlakuan konsentrasi nanosilika (v/v) 0,50% menunjukkan hasil tertinggi pada jumlah daun selada merah dengan nilai sebesar

16,69 helai. Hal ini dikarenakan nanosilika mampu memperkuat dinding sel, sehingga dapat memperkuat struktur daun pada tanaman selada merah. Hal ini sesuai dengan pendapat Nguyen *et al.* (2023) yang menyatakan bahwa nanosilika dapat memperkuat struktur daun melalui penebalan dinding sel, meningkatkan ketahanan terhadap cekaman, dan mempercepat laju fotosintesis dalam pertumbuhan selada merah. Nanosilika mampu meningkatkan efisiensi fisiologis tanaman sehingga proses pembentukan daun berlangsung lebih optimal dengan memperkuat jaringan epidermis daun dan memberikan pengaruh terhadap pertumbuhan vegetatif selada hidroponik termasuk jumlah daun. Hal ini sesuai dengan pendapat Clarah *et al.* (2017) yang menyatakan bahwa nanosilika dapat meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara dan mendukung pertumbuhan vegetatif tanaman. Tidak adanya interaksi antara formulasi nutrisi dan konsentrasi nanosilika, karena formulasi nutrisi lebih dominan dalam menyediakan unsur hara utama untuk pertumbuhan tanaman, sedangkan nanosilika berperan sebagai unsur pendukung dalam meningkatkan efisiensi fisiologis tanaman. Hal ini sesuai dengan pendapat Romalasari dan Sobari (2019) yang menyatakan bahwa pemberian nanosilika cenderung berperan sebagai unsur pendukung dalam meningkatkan respons fisiologis tanaman, namun tidak secara langsung memengaruhi pembentukan daun apabila kebutuhan unsur hara utama telah terpenuhi.

4.3.3. Panjang akar

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan formulasi nutrisi berpengaruh nyata terhadap panjang akar selada merah (Lampiran 9). Perlakuan konsentrasi nanosilika tidak berpengaruh nyata terhadap panjang akar selada merah.

Interaksi perlakuan formulasi nutrisi dengan konsentrasi nanosilika tidak berpengaruh signifikan terhadap panjang akar selada merah. Hasil uji BNT panjang akar karena pengaruh formulasi nutrisi dan konsentrasi nanosilika dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Panjang Akar Selada Merah dengan Perlakuan Formulasi Nutrisi dan Konsentrasi Nanosilika.

Formulasi Nutrisi	Nanosilika (v/v)				Total Rata - rata
	0%	0,25%	0,50%	0,75%	
	-----cm-----				
Goodplant	28,25	28,93	29,45	29,43	29,01 ^a
Hoagland	26,75	26,80	26,90	27,28	26,93 ^a
Hewitt	12,88	13,00	12,88	12,93	12,92 ^c
Steiner	20,50	20,75	21,65	20,38	20,82 ^b
Rata – rata	22,09	22,37	22,72	22,50	

Angka yang diikuti dengan superskrip berbeda pada kolom rata-rata menunjukkan berbeda nyata menurut Uji Beda Nyata Terkecil ($P < 0,05$)

Berdasarkan Tabel 5 dapat diketahui bahwa perlakuan formulasi nutrisi berpengaruh nyata terhadap panjang akar selada merah. Formulasi nutrisi goodplant menunjukkan hasil optimal pada parameter panjang akar dengan nilai sebesar 29,01 cm tidak berbeda nyata dengan formulasi nutrisi Hoagland (26,03 cm), sedangkan formulasi nutrisi Hewitt menunjukkan hasil terendah pada parameter panjang akar dengan nilai 12,92 cm. Hal ini dikarenakan formulasi nutrisi goodplant dan Hoagland merupakan nutrisi yang dapat dengan mudah diserap oleh akar tanaman, sehingga dapat meningkatkan aktivitas akar halus, memperluas area permukaan akar, dan dapat mempercepat penyerapan nutrisi tanaman. Hal ini sesuai dengan pendapat Abdel Hakim *et al.* (2023) yang menyatakan bahwa pemberian nutrisi berbasis nanopartikel dapat meningkatkan efisiensi penyerapan hara dan parameter pertumbuhan tanaman, termasuk panjang akar, melalui peningkatan ketersediaan unsur hara dan stimulasi aktivitas metabolik akar. Formulasi nutrisi goodplant dan

Hoagland memiliki kandungan unsur hara Ca yang memiliki peran penting pada pertumbuhan akar tanaman, terutama dalam pembentukan dinding sel dan membran sel. Hal ini sesuai dengan pendapat Morgan (2020) yang menyatakan bahwa unsur hara Ca berperan dalam pertumbuhan akar selada merah dan mengatur distribusi hasil fotosintesis, apabila terjadi defisiensi Ca maka penyerapan hara oleh akar tanaman akan terhambat, sehingga pertumbuhan akar dapat terganggu. Rendahnya panjang akar pada perlakuan formulasi nutrisi Hewitt diduga disebabkan oleh perubahan pH larutan nutrisi yang dapat menurunkan ketersediaan beberapa unsur hara sehingga menghambat aktivitas pembelahan dan pemanjangan sel akar. Hal ini sesuai dengan pendapat Vought *et al.* (2024) yang menyatakan bahwa stabilitas pH larutan nutrisi berperan penting dalam meningkatkan penyerapan ion dan perkembangan akar pada budidaya selada hidroponik.

Berdasarkan Tabel 5 perlakuan konsentrasi nanosilika tidak berpengaruh nyata terhadap panjang akar selada merah diduga karena nanosilika lebih berperan dalam memperkuat jaringan tanaman dan meningkatkan efisiensi fisiologis tanaman dibandingkan merangsang pemanjangan akar. Hal ini sesuai dengan pendapat Khan *et al.* (2025) yang menyatakan bahwa nanosilika lebih dominan berperan dalam meningkatkan toleransi tanaman terhadap cekaman biotik dan abiotik melalui perbaikan proses fisiologis, efisiensi fotosintesis, dan perlindungan jaringan tanaman dibandingkan meningkatkan pertumbuhan akar. Tidak adanya pengaruh interaksi antara formulasi nutrisi dan konsentrasi nanosilika terhadap panjang akar selada merah menunjukkan bahwa masing-masing perlakuan memberikan respons yang berbeda dan tidak saling mendukung secara langsung

dalam merangsang pertumbuhan akar selada merah hidroponik. Hal ini sesuai dengan pendapat Mir *et al.* (2022) yang menyatakan bahwa nanosilika diketahui lebih banyak berperan dalam membantu tanaman mempertahankan kondisi fisiologisnya dibandingkan secara langsung memacu perpanjangan akar.

4.3.4. Bobot segar akar

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan formulasi nutrisi berpengaruh nyata terhadap bobot segar akar selada merah (Lampiran 10). Perlakuan konsentrasi nanosilika tidak berpengaruh nyata terhadap bobot segar akar selada merah. Interaksi perlakuan formulasi nutrisi dengan konsentrasi nanosilika tidak berpengaruh signifikan terhadap bobot segar akar selada merah. Hasil uji BNT bobot segar akar karena pengaruh formulasi nutrisi dan konsentrasi nanosilika dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Bobot Segar Akar Selada Merah dengan Perlakuan Formulasi Nutrisi dan Konsentrasi Nanosilika.

Formulasi Nutrisi	Nanosilika (v/v)				Total Rata - rata
	0%	0,25%	0,50%	0,75%	
	-----g-----				
Goodplant	7,38	5,71	10,30	9,97	9,42 ^a
Hoagland	5,32	4,91	5,26	5,32	5,30 ^a
Hewitt	0,63	1,05	0,60	0,66	0,63 ^b
Steiner	5,07	3,40	5,41	5,66	5,38 ^a
Rata – rata	4,60	5,33	5,39	5,40	

Angka yang diikuti dengan superskrip berbeda pada kolom rata-rata menunjukkan berbeda nyata menurut Uji Beda Nyata Terkecil ($P < 0,05$)

Berdasarkan Tabel 6 dapat diketahui bahwa perlakuan formulasi nutrisi berpengaruh nyata terhadap bobot segar akar selada merah. Formulasi nutrisi goodplant menunjukkan hasil optimal pada parameter bobot segar akar dengan nilai

sebesar 9,42 g tidak berbeda nyata dengan formulasi nutrisi Hoagland (5,30 g), sedangkan formulasi nutrisi Hewitt menunjukkan hasil terendah pada parameter bobot segar akar dengan nilai 0,63 g tidak berbeda nyata dengan formulasi nutrisi Steiner (5,38 g). Tingginya bobot segar akar pada perlakuan goodplant dan Hoagland diduga karena kandungan unsur hara makro dan mikro dalam nutrisi goodplant dan Hoagland yang lebih seimbang. Hal ini sesuai dengan pendapat Rahmawati *et al.* (2020) yang menyatakan bahwa unsur hara seperti nitrogen, fosfor, dan kalium, berperan penting dalam merangsang pertumbuhan akar, pembelahan sel, serta peningkatan aktivitas metabolisme tanaman, ketersediaan unsur mikro seperti Fe, Mn, dan Zn turut mendukung aktivitas enzim dan proses fisiologis yang berhubungan dengan perkembangan sistem perakaran. Rendahnya bobot segar akar pada perlakuan formulasi nutrisi Hewitt dan Steiner diduga disebabkan oleh perubahan pH larutan nutrisi yang dapat menurunkan ketersediaan beberapa unsur hara sehingga menghambat aktivitas pembelahan dan pemanjangan sel akar. Hal ini sesuai dengan pendapat Vought *et al.* (2024) yang menyatakan bahwa stabilitas pH larutan nutrisi berperan penting dalam meningkatkan penyerapan ion dan perkembangan biomassa akar pada budidaya selada hidroponik.

Berdasarkan Tabel 6 perlakuan konsentrasi nanosilika tidak berpengaruh nyata terhadap bobot segar akar selada merah. Hal ini diduga karena pemberian nanosilika pada konsentrasi yang digunakan belum mampu memberikan pengaruh yang optimal terhadap peningkatan biomassa akar tanaman. Hal ini sesuai dengan pendapat Mautuka *et al.* (2022) yang menyatakan bahwa pemberian nanosilika pada konsentrasi tertentu belum tentu memberikan respon signifikan terhadap

peningkatan biomasa akar tanaman apabila. Penyerapan nanosilika oleh tanaman cenderung dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan kemampuan adaptasi tanaman terhadap unsur silika. Hal ini sesuai dengan pendapat (Luyckx *et al.* 2017) yang menyatakan bahwa efektivitas silika pada tanaman sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan media tumbuh, serta kemampuan tanaman dalam beradaptasi.

Interaksi perlakuan formulasi nutrisi dengan konsentrasi nanosilika tidak berpengaruh signifikan terhadap bobot segar akar selada merah. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi kedua perlakuan belum mampu memberikan efek sinergis terhadap peningkatan biomassa akar tanaman. Hal ini sesuai dengan pendapat Rios *et al.* (2023) yang menyatakan bahwa perkembangan akar pada selada hidroponik lebih dipengaruhi oleh keseimbangan unsur hara dibandingkan suplementasi nanosilika ketika kondisi nutrisi sudah optimal. Biomassa akar tanaman lebih dipengaruhi oleh kecukupan unsur hara dibandingkan aplikasi nanosilika. Hal ini sesuai dengan pendapat Kim *et al.* (2024) yang menyatakan bahwa aplikasi nanosilika tidak memberikan peningkatan signifikan terhadap biomassa akar pada kondisi kecukupan nutrisi tanaman.

4.3.5. Bobot kering akar

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan formulasi nutrisi berpengaruh nyata terhadap bobot kering akar selada merah (Lampiran 11). Perlakuan konsentrasi nanosilika tidak berpengaruh nyata terhadap bobot kering akar selada merah. Interaksi perlakuan formulasi nutrisi dengan konsentrasi nanosilika tidak berpengaruh signifikan terhadap bobot segar akar selada merah.

Hasil uji BNT bobot kering akar karena pengaruh formulasi nutrisi dan konsentrasi nanosilika dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Bobot Kering Akar Selada Merah dengan Perlakuan Formulasi Nutrisi dan Konsentrasi Nanosilika.

Formulasi Nutrisi	Nanosilika (v/v)				Total Rata - rata
	0%	0,25%	0,50%	0,75%	
	-----g-----				
Goodplant	1,07	1,06	1,10	1,10	1,08 ^a
Hoagland	0,40	0,40	0,41	0,40	0,40 ^b
Hewitt	0,27	0,26	0,27	0,27	0,27 ^b
Steiner	0,72	0,70	0,70	0,69	0,70 ^{ab}
Rata – rata	0,61	0,60	0,62	0,61	

Angka yang diikuti dengan superskrip berbeda pada kolom rata-rata menunjukkan berbeda nyata menurut Uji Beda Nyata Terkecil ($P < 0,05$)

Berdasarkan Tabel 7 dapat diketahui bahwa perlakuan formulasi nutrisi berpengaruh nyata terhadap bobot kering akar selada merah. Formulasi nutrisi Goodplant menunjukkan hasil optimal pada parameter bobot kering akar dengan nilai sebesar 1,08 g tidak berbeda nyata dengan formulasi nutrisi Steiner (0,70 g), sedangkan formulasi nutrisi Hoagland menunjukkan hasil terendah pada parameter bobot kering akar dengan nilai sebesar 0,40 g tidak berbeda nyata dengan formulasi nutrisi Hewitt (0,27 g). Tingginya bobot kering akar pada perlakuan ini diduga karena kandungan unsur hara makro dan mikro dalam nutrisi goodplant dan nutrisi Steiner lebih seimbang serta tersedia dalam bentuk yang mudah diserap oleh tanaman, khususnya pada selada merah hidroponik. Hal ini sesuai dengan pendapat Rahmawati *et al.* (2020) yang menyatakan bahwa unsur hara seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) berperan penting dalam merangsang pertumbuhan akar, pembelahan sel, serta peningkatan aktivitas metabolisme tanaman, ketersediaan unsur mikro seperti Fe, Mn, dan Zn juga turut mendukung aktivitas enzim dan

proses fisiologis yang berhubungan dengan perkembangan sistem perakaran. Rendahnya bobot kering akar pada nutrisi Hoagland dan Hewitt diduga berkaitan dengan keseimbangan ion dan konsentrasi unsur hara dalam larutan nutrisi yang memengaruhi efisiensi penyerapan hara serta perkembangan sistem perakaran. Hasil sesuai dengan pendapat Soufi *et al.* (2023) yang menyatakan bahwa komposisi nutrisi berpengaruh terhadap penyerapan unsur hara dan pertumbuhan biomassa tanaman selada.

Berdasarkan Tabel 7 perlakuan konsentrasi nanosilika tidak berpengaruh nyata terhadap bobot kering akar selada merah. Hal ini diduga karena pemberian nanosilika pada konsentrasi yang digunakan belum mampu meningkatkan akumulasi biomassa kering akar secara optimal. Efektivitas nanosilika pada tanaman sangat dipengaruhi oleh dosis, jenis tanaman. Hal ini sesuai dengan pendapat Luyckx *et al.* (2017) yang menyatakan bahwa pengaruh silika terhadap pertumbuhan tanaman dipengaruhi oleh spesies tanaman, dosis aplikasi, dan kondisi lingkungan tumbuh. Interaksi perlakuan formulasi nutrisi dengan konsentrasi nanosilika tidak berpengaruh signifikan terhadap bobot kering akar selada merah. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi kedua perlakuan belum mampu memberikan efek sinergis dalam meningkatkan akumulasi biomassa kering akar tanaman, karena masing-masing perlakuan bekerja secara independen dalam memengaruhi pertumbuhan tanaman sehingga respon yang dihasilkan tidak saling mendukung. Hal ini sesuai dengan pendapat Hanafiah (2019) yang menyatakan bahwa tidak terjadinya interaksi antar perlakuan menunjukkan masing-masing faktor memberikan pengaruh tersendiri terhadap pertumbuhan tanaman dan

pertumbuhan akar tanaman hidroponik lebih dipengaruhi oleh ketersediaan unsur hara dibandingkan perlakuan tambahan apabila kondisi nutrisi tanaman sudah optimal.

4.3.6. Bobot segar tajuk

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan formulasi nutrisi berpengaruh nyata terhadap bobot segar tajuk selada merah (Lampiran 12). Perlakuan konsentrasi nanosilika tidak berpengaruh nyata terhadap bobot segar tajuk selada merah. Interaksi perlakuan formulasi nutrisi dengan konsentrasi nanosilika tidak berpengaruh signifikan terhadap bobot segar tajuk selada merah. Hasil uji BNT bobot segar tajuk karena pengaruh formulasi nutrisi dan konsentrasi nanosilika dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Bobot Segar Tajuk Selada Merah dengan Perlakuan Formulasi Nutrisi dan Konsentrasi Nanosilika.

Formulasi Nutrisi	Nanosilika (v/v)				Total
	0%	0,25%	0,50%	0,75%	Rata - rata
	-----g-----				
Goodplant	27,49	27,42	27,61	27,54	27,51 ^a
Hoagland	25,08	24,80	24,45	24,85	24,80 ^a
Hewitt	15,77	15,63	15,53	15,64	15,64 ^{ab}
Steiner	10,54	10,47	10,60	10,48	10,52 ^b
Rata – rata	19,72	19,58	19,55	19,63	

Angka yang diikuti dengan superskrip berbeda pada kolom rata-rata menunjukkan berbeda nyata menurut Uji Beda Nyata Terkecil ($P < 0,05$)

Berdasarkan Tabel 8 dapat diketahui bahwa perlakuan formulasi nutrisi berpengaruh nyata terhadap bobot segar tajuk selada merah. Formulasi nutrisi Goodplant menunjukkan hasil optimal pada parameter bobot segar tajuk dengan nilai sebesar 27,51 g tidak berbeda nyata dengan formulasi nutrisi Hoagland (24,80 g) dan Hewitt (15,54 g), sedangkan formulasi nutrisi Steiner menunjukkan hasil terendah pada parameter bobot segar tajuk dengan nilai sebesar 10,52 g. Hal ini menunjukkan bahwa larutan nutrisi goodplant dan Hoagland mampu menyediakan nutrisi yang lengkap dan seimbang sehingga mendukung pertumbuhan vegetatif tanaman secara optimal. Hal ini sesuai dengan pendapat Rouphael dan Colla (2020) yang menyatakan bahwa keseimbangan nutrisi dalam larutan Goodplant dan Hoagland membantu meningkatkan bobot segar tajuk karena unsur hara tersedia dalam bentuk ion yang mudah diserap akar dan membantu meningkatkan efisiensi serapan nutrisi, mempercepat pertumbuhan daun, serta meningkatkan kandungan air dalam jaringan tanaman sehingga bobot segar tajuk menjadi lebih tinggi, jaringan tanaman tampak lebih segar dan berat segar meningkat secara signifikan. Rendahnya bobot segar tajuk pada formulasi nutrisi Steiner diduga disebabkan oleh komposisi dan keseimbangan unsur hara yang kurang optimal untuk mendukung pertumbuhan selada merah. Hal ini sesuai dengan pendapat Soufi *et al.* (2023) yang menyatakan bahwa perbedaan komposisi nutrisi dapat memengaruhi serapan unsur hara dan pertumbuhan biomassa tajuk tanaman selada.

Berdasarkan Tabel 8 perlakuan konsentrasi nanosilika tidak berpengaruh nyata terhadap bobot segar tajuk selada merah. Hal ini diduga karena pemberian nanosilika pada konsentrasi yang digunakan belum mampu meningkatkan

pertumbuhan tajuk tanaman secara optimal karena efektivitas nanosilika pada tanaman dipengaruhi oleh konsentrasi, jenis tanaman, serta kondisi lingkungan sehingga respon tanaman terhadap aplikasi nanosilika tidak selalu memberikan pengaruh yang signifikan. Hal ini sesuai dengan pendapat Rifan *et al.* (2024) yang menyatakan bahwa aplikasi silika pada tanaman sangat dipengaruhi oleh konsentrasi dan kondisi lingkungan tumbuh. Interaksi perlakuan formulasi nutrisi dengan konsentrasi nanosilika tidak berpengaruh signifikan terhadap bobot segar tajuk selada merah. Hal ini diduga karena formulasi nutrisi memiliki pengaruh yang lebih dominan terhadap pertumbuhan tajuk dibandingkan nanosilika karena unsur hara makro dan mikro lebih berperan langsung dalam proses pembentukan jaringan tanaman. Hal ini sesuai dengan pendapat Hanafiah (2019) yang menyatakan bahwa tidak adanya interaksi antar perlakuan menunjukkan masing-masing faktor memberikan pengaruh tersendiri terhadap pertumbuhan tanaman dan hasil tanaman hidroponik lebih dipengaruhi oleh kecukupan unsur hara dibandingkan perlakuan tambahan lainnya apabila kondisi nutrisi tanaman telah optimal.

4.3.7. Bobot kering tajuk

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan formulasi nutrisi berpengaruh nyata terhadap bobot kering tajuk selada merah Lampiran 13. Perlakuan konsentrasi nanosilika tidak berpengaruh nyata terhadap bobot kering tajuk selada merah. Interaksi perlakuan formulasi nutrisi dengan konsentrasi nanosilika tidak berpengaruh signifikan terhadap bobot kering tajuk selada merah.

Hasil uji BNT bobot kering tajuk karena pengaruh formulasi nutrisi dan konsentrasi nanosilika dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Bobot Kering Tajuk Selada Merah dengan Perlakuan Formulasi Nutrisi dan Konsentrasi Nanosilika.

Formulasi Nutrisi	Nanosilika (v/v)				Total Rata - rata
	0%	0,25%	0,50%	0,75%	
	-----g-----				
Goodplant	2,52	2,48	2,49	2,49	2,49 ^a
Hoagland	1,48	1,47	1,47	1,50	1,48 ^b
Hewitt	1,18	1,17	1,18	1,18	1,18 ^b
Steiner	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07 ^b
Rata – rata	1,56	1,55	1,55	1,56	

Angka yang diikuti dengan superskrip berbeda pada kolom rata-rata menunjukkan berbeda nyata menurut Uji Beda Nyata Terkecil ($P < 0,05$)

Berdasarkan Tabel 9 dapat diketahui bahwa perlakuan formulasi nutrisi berpengaruh nyata terhadap bobot kering tajuk selada merah. Formulasi nutrisi Goodplant menunjukkan hasil tertinggi pada parameter bobot kering tajuk dibandingkan dengan formulasi nutrisi lainnya dengan nilai sebesar 2,49 g, sedangkan formulasi nutrisi Hoagland menunjukkan hasil terendah pada parameter bobot kering tajuk dengan nilai sebesar 1,48 g tidak berbeda nyata dengan formulasi nutrisi Hewitt (1,18 g) dan Steiner (1,07 g). Tingginya bobot kering tajuk pada perlakuan formulasi nutrisi goodplant diduga karena formulasi nutrisi goodplant mampu meningkatkan bobot kering tajuk dengan meningkatkan laju fotosintesis tanaman dan efisiensi penggunaan nutrisi. Hal ini sesuai dengan pendapat Rouphael dan Colla (2020) yang menyatakan bahwa ketersediaan unsur hara dalam larutan nutrisi sangat menentukan laju fotosintesis, terutama unsur nitrogen yang berperan dalam pembentukan klorofil, serta nutrisi yang tersedia dalam bentuk ion yang stabil akan meningkatkan efisiensi penyerapan oleh akar sehingga distribusi hara

ke bagian tajuk menjadi lebih maksimal. Bobot kering tajuk merupakan indikator penting yang menggambarkan hasil akumulasi fotosintat setelah seluruh kandungan air pada jaringan tanaman dihilangkan. Hal ini sesuai dengan pendapat Sambo *et al.* (2019) yang menyatakan bahwa tingginya bobot kering tajuk menunjukkan bahwa proses fotosintesis berjalan lebih efektif dan hasil asimilat lebih banyak dialokasikan ke jaringan tanaman terutama pada bagian daun dan batang selada. Rendahnya bobot kering tajuk pada formulasi Hoagland, Hewitt, dan Steiner diduga disebabkan oleh perbedaan komposisi serta proporsi unsur hara yang kurang sesuai dengan kebutuhan selada merah, sehingga efisiensi penyerapan nutrisi, laju fotosintesis, dan translokasi hasil fotosintesis ke jaringan tajuk menjadi kurang optimal. Hal ini sesuai dengan pendapat Vought *et al.* (2024) yang menyatakan bahwa ketersediaan unsur hara makro dan mikro dalam larutan hidroponik berperan penting dalam mendukung pertumbuhan dan pembentukan biomassa tanaman.

Berdasarkan Tabel 9 perlakuan konsentrasi nanosilika tidak berpengaruh nyata pada bobot kering tajuk. Kondisi ini diduga karena pemberian nanosilika belum mampu meningkatkan akumulasi bahan kering tanaman secara signifikan karena respons yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh konsentrasi, metode aplikasi, serta kondisi lingkungan dan fisiologi tanaman. Hal ini sesuai dengan pendapat Hasanuzzaman *et al.* (2018) yang menyatakan bahwa efektivitas nanopartikel silika dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman bergantung pada dosis dan kondisi pertumbuhan sehingga respons tanaman tidak selalu menunjukkan peningkatan biomassa yang nyata. Nanosilika berperan untuk melindungi tanaman dalam kondisi cekaman kekeringan. Hal ini sesuai dengan

pendapat Tripathi *et al.* (2017) yang menyatakan bahwa manfaat nanosilika terhadap pertumbuhan tanaman umumnya lebih terlihat ketika tanaman mengalami cekaman, sedangkan pada kondisi pertumbuhan yang relatif optimal pengaruhnya sering kali tidak berbeda nyata dibandingkan kontrol, oleh karena itu nanosilika pada penelitian ini diduga belum memberikan tambahan manfaat yang cukup besar untuk meningkatkan bobot kering tajuk selada merah.

Interaksi antara perlakuan formulasi nutrisi dan konsentrasi nanosilika tidak berpengaruh signifikan karena respons pertumbuhan tanaman terhadap unsur hara dan nanosilika bersifat kompleks, pada kondisi nutrisi yang relatif optimal, tambahan nanosilika tidak selalu mampu meningkatkan efisiensi serapan hara secara nyata sehingga efek sinergis antarperlakuan tidak terbentuk. Hal ini sesuai dengan pendapat Awad-Allah (2022) yang menyatakan bahwa hasil tanaman hidroponik lebih dipengaruhi oleh kecukupan unsur hara dibandingkan perlakuan tambahan lainnya apabila kondisi nutrisi tanaman telah optimal. Efektivitas nanosilika dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman sangat bergantung pada kondisi nutrisi, lingkungan tumbuh, serta dosis aplikasi, sehingga respons tanaman tidak selalu menunjukkan peningkatan yang signifikan. Hal ini sesuai dengan pendapat Pan *et al.* (2023) yang menyatakan bahwa interaksi nanosilika dengan sistem nutrisi tanaman dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti sifat nanopartikel, dosis aplikasi, dan kondisi tanaman, sehingga efek kombinasi perlakuan dapat menjadi tidak konsisten dan tidak selalu meningkatkan biomassa tanaman secara nyata.

4.3.8. Laju pertumbuhan nisbi

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan formulasi nutrisi berpengaruh nyata terhadap laju pertumbuhan nisbi selada merah (Lampiran 14). Perlakuan konsentrasi nanosilika tidak berpengaruh nyata terhadap laju pertumbuhan nisbi selada merah. Interaksi perlakuan formulasi nutrisi dengan konsentrasi nanosilika tidak berpengaruh signifikan terhadap laju pertumbuhan nisbi selada merah. Hasil uji BNT laju pertumbuhan nisbi karena pengaruh formulasi nutrisi dan konsentrasi nanosilika dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Laju Pertumbuhan Nisbi Selada Merah dengan Perlakuan Formulasi Nutrisi dan Konsentrasi Nanosilika.

Formulasi Nutrisi	Nanosilika (v/v)				Total Rata - rata
	0%	0,25%	0,50%	0,75%	
	-----g.g ⁻¹ .hari ⁻¹ -----				
Goodplant	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12 ^a
Hoagland	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08 ^b
Hewitt	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04 ^b
Steiner	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06 ^b
Rata – rata	0,07	0,07	0,07	0,07	

Angka yang diikuti dengan superskrip berbeda pada kolom rata-rata menunjukkan berbeda nyata menurut Uji Beda Nyata Terkecil ($P < 0,05$)

Berdasarkan Tabel 10 dapat diketahui bahwa perlakuan formulasi nutrisi berpengaruh nyata terhadap laju pertumbuhan nisbi selada merah. Formulasi nutrisi Goodplant menunjukkan hasil tertinggi pada parameter laju pertumbuhan nisbi dibandingkan dengan formulasi nutrisi lainnya dengan nilai sebesar 0,12 g/g/hari, sedangkan formulasi nutrisi Hoagland menunjukkan hasil terendah pada parameter laju pertumbuhan nisbi dengan nilai 0,08 g/g/hari tidak berbeda nyata dengan formulasi nutrisi Hewitt (0,04 g/g/hari) dan Steiner (0,06 g/g/h). Tingginya laju pertumbuhan nisbi pada perlakuan formulasi nutrisi dikarenakan nutrisi goodplant

mampu meningkatkan efisiensi penggunaan nutrisi oleh tanaman dalam membentuk biomassa baru selama periode pertumbuhan. Hal ini sesuai dengan pendapat Sambo *et al.* (2019) yang menyatakan bahwa ketersediaan nutrisi yang optimal dalam sistem hidroponik dapat meningkatkan efisiensi serapan unsur hara dan mempercepat pertumbuhan tanaman melalui peningkatan akumulasi biomassa. Laju pertumbuhan nisbi sangat dipengaruhi oleh keseimbangan antara proses fotosintesis dan respirasi tanaman, apabila proses fotosintesis lebih dominan dibandingkan respirasi, maka akumulasi biomassa akan meningkat dan tercermin dalam nilai RGR yang lebih tinggi. Hal ini sesuai dengan pendapat Hunt (2017) yang menyatakan bahwa laju pertumbuhan nisbi (*Relative Growth Rate*) merupakan hasil bersih dari fotosintesis dikurangi respirasi, sehingga peningkatan efisiensi fotosintesis akan berdampak langsung terhadap peningkatan akumulasi biomassa tanaman.

Nilai laju pertumbuhan nisbi yang lebih rendah pada formulasi Hoagland, Hewitt, dan Steiner diduga disebabkan oleh kurang optimalnya keseimbangan unsur hara yang berpengaruh terhadap proses fisiologis tanaman, laju pertumbuhan nisbi dipengaruhi oleh efisiensi fotosintesis, aktivitas enzim metabolik, serta pembentukan dan pembelahan sel yang sangat bergantung pada ketersediaan unsur hara esensial. Hal ini sesuai dengan pendapat Abdelrahman *et al.* (2023) yang menyatakan bahwa ketersediaan dan keseimbangan unsur hara berperan penting dalam mengatur proses fisiologis tanaman, terutama fotosintesis dan metabolisme karbon yang menentukan laju pertumbuhan tanaman. Ketidakseimbangan unsur hara dapat mengganggu pembentukan klorofil, menurunkan laju fotosintesis, serta

menghambat alokasi fotosintat ke jaringan baru sehingga laju pertumbuhan menjadi lebih rendah. Hal ini sesuai dengan pendapat Rouphael *et al.* (2022) yang menyatakan bahwa ketidaksesuaian komposisi larutan nutrisi hidroponik dapat memengaruhi regulasi fisiologi tanaman, termasuk aktivitas fotosintesis dan efisiensi penggunaan hara, yang pada akhirnya berdampak pada penurunan laju pertumbuhan nisbi tanaman.

Berdasarkan Tabel 10 perlakuan konsentrasi nanosilika tidak berpengaruh nyata pada parameter laju pertumbuhan nisbi diduga karena pada kondisi pertumbuhan yang tidak mengalami cekaman, nanosilika tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan aktivitas fisiologis utama seperti fotosintesis, pembentukan klorofil, maupun efisiensi penggunaan hara. Hal ini sesuai dengan pendapat Imtiaz *et al.* (2023) yang menyatakan bahwa efek aplikasi silika pada tanaman lebih dominan terlihat pada kondisi cekaman abiotik, sedangkan pada kondisi pertumbuhan optimal pengaruhnya terhadap parameter pertumbuhan relatif sering kali tidak signifikan. Menurut Etesami dan Jeong (2022) respons tanaman terhadap nanopartikel silika sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan fisiologi tanaman, sehingga pada kondisi tanpa stres, pengaruhnya terhadap laju pertumbuhan dan akumulasi biomassa cenderung terbatas.

Interaksi antara perlakuan formulasi nutrisi dan konsentrasi nanosilika tidak berpengaruh signifikan terhadap parameter laju pertumbuhan nisbi diduga karena formulasi nutrisi berperan dalam ketersediaan unsur hara makro dan mikro, sedangkan nanosilika lebih berperan dalam peningkatan toleransi stres dan efisiensi fisiologis tertentu, sehingga pada kondisi tanpa cekaman tidak terjadi efek sinergis

yang nyata. Hal ini sesuai dengan pendapat Hasanuzzaman *et al.* (2018) yang menyatakan bahwa interaksi antara nutrisi dan aplikasi silika pada tanaman sangat bergantung pada kondisi lingkungan, di mana efek sinergis lebih sering muncul pada kondisi cekaman dibandingkan kondisi optimal. Menurut Coskun *et al.* (2023) pengaruh nanosilika terhadap pertumbuhan tanaman tidak selalu berinteraksi dengan nutrisi utama, karena efeknya lebih bersifat spesifik pada modulasi fisiologi stres dibandingkan pada peningkatan pertumbuhan tanaman.

4.3.9. Kadar klorofil total

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan formulasi nutrisi berpengaruh nyata terhadap kadar klorofil total selada merah (Lampiran 15). Perlakuan konsentrasi nanosilika tidak berpengaruh nyata terhadap kadar klorofil selada merah. Interaksi perlakuan formulasi nutrisi dengan konsentrasi nanosilika tidak berpengaruh signifikan terhadap kadar klorofil total selada merah. Hasil uji BNT kadar klorofil total karena pengaruh formulasi nutrisi dan konsentrasi nanosilika dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Kadar Klorofil Total Selada Merah dengan Perlakuan Formulasi Nutrisi dan Konsentrasi Nanosilika.

Formulasi Nutrisi	Nanosilika (v/v)				Total Rata - rata
	0%	0,25%	0,50%	0,75%	
	-----mg/g-----				
Goodplant	0,17	0,17	0,17	0,16	0,17 ^a
Hoagland	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08 ^b
Hewitt	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07 ^b
Steiner	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06 ^b
Rata – rata	0,09	0,09	0,09	0,09	

Angka yang diikuti dengan superskrip berbeda pada kolom rata-rata menunjukkan berbeda nyata menurut Uji Beda Nyata Terkecil ($P < 0,05$)

Berdasarkan Tabel 11 dapat diketahui bahwa perlakuan formulasi nutrisi berpengaruh nyata terhadap kadar klorofil total selada merah. Formulasi nutrisi goodplant menunjukkan hasil tertinggi pada kadar klorofil total dibandingkan dengan formulasi nutrisi lainnya dengan nilai sebesar 0,17 mg/g, sedangkan formulasi nutrisi Hoagland menunjukkan hasil terendah pada kadar klorofil total dengan nilai sebesar 0,08 mg/g tidak berbeda nyata dengan Hewitt (0,07 mg/g) dan Steiner (0,08 mg/g). Hal ini dikarenakan goodplant diduga memiliki kandungan unsur hara yang lebih seimbang, terutama unsur nitrogen (N) dan magnesium (Mg), yang berperan penting dalam pembentukan klorofil pada tanaman. Hal ini sesuai dengan pendapat Muttulani (2025) yang menyatakan bahwa keseimbangan unsur nitrogen dan magnesium dalam sistem hidroponik sangat memengaruhi kandungan klorofil dan efisiensi fotosintesis tanaman selada, di mana peningkatan ketersediaan unsur tersebut akan meningkatkan kandungan klorofil daun. Nitrogen merupakan komponen utama dalam pembentukan klorofil karena terlibat dalam struktur molekul klorofil dan enzim yang mendukung proses fotosintesis, sedangkan magnesium merupakan unsur pusat dalam molekul klorofil. Hal ini sesuai dengan pendapat Wang *et al.* (2023) yang menyatakan bahwa ketersediaan nitrogen berpengaruh langsung terhadap kandungan klorofil dan kapasitas fotosintesis tanaman, serta peningkatan nitrogen akan meningkatkan pembentukan klorofil daun, dan magnesium berperan sebagai atom pusat klorofil yang sangat penting dalam penyerapan energi cahaya dan efisiensi fotosintesis tanaman.

Nilai kadar klorofil yang rendah pada formulasi nutrisi Hoagland, Hewitt, dan Steiner diduga disebabkan oleh komposisi serta keseimbangan unsur hara yang

kurang sesuai untuk mendukung pembentukan klorofil pada selada merah, seperti rendahnya unsur nitrogen (N) dan magnesium (Mg) yang sangat menentukan sintesis klorofil dan aktivitas fotosintesis tanaman. Hal ini sesuai dengan pendapat Gupta dan Gupta (2022) yang menyatakan bahwa nitrogen dan magnesium merupakan unsur hara esensial yang berperan penting dalam pembentukan klorofil serta mendukung kapasitas fotosintesis tanaman. Menurut Taiz *et al.* (2023) ketidakseimbangan ketersediaan unsur hara dapat menghambat biosintesis klorofil dan perkembangan kloroplas sehingga kandungan klorofil daun menjadi lebih rendah serta efisiensi fotosintesis tanaman menurun.

Berdasarkan Tabel 11 perlakuan konsentrasi nanosilika tidak berpengaruh nyata pada parameter kadar klorofil total diduga karena nanosilika tidak terlibat secara langsung dalam struktur molekul klorofil maupun proses biosintesis klorofil. Hal ini sesuai dengan pendapat Hasanuzzaman *et al.* (2018) yang menyatakan bahwa nanosilika bukan merupakan unsur esensial penyusun klorofil, sehingga pengaruhnya terhadap kandungan klorofil umumnya bersifat tidak langsung melalui perbaikan kondisi fisiologis tanaman. Interaksi antara perlakuan formulasi nutrisi dan konsentrasi nanosilika tidak berpengaruh signifikan terhadap parameter kadar klorofil total diduga karena tidak terjadi interaksi kimia maupun fisiologis yang cukup kuat antara unsur hara dalam larutan nutrisi dan nanosilika untuk meningkatkan sintesis klorofil. Hal ini sesuai dengan pendapat Coskun *et al.* (2019) yang menyatakan bahwa silika lebih berperan dalam meningkatkan efisiensi fisiologis dan ketahanan tanaman dibandingkan dalam pembentukan senyawa metabolit primer seperti klorofil.

4.3.10. Kadar karotenoid

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan formulasi nutrisi berpengaruh nyata terhadap kadar karotenoid selada merah (Lampiran 16). Perlakuan konsentrasi nanosilika tidak berpengaruh nyata terhadap kadar karotenoid selada merah. Interaksi perlakuan formulasi nutrisi dengan konsentrasi nanosilika tidak berpengaruh signifikan terhadap kadar karotenoid selada merah. Hasil uji BNT kadar karotenoid karena pengaruh formulasi nutrisi dan konsentrasi nanosilika dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Kadar Karotenoid Selada Merah dengan Perlakuan Formulasi Nutrisi dan Konsentrasi Nanosilika.

Formulasi Nutrisi	Nanosilika (v/v)				Total Rata - rata
	0%	0,25%	0,50%	0,75%	
	----- $\mu\text{mol/g}$ -----				
Goodplant	0,65	0,64	0,64	0,64	0,64 ^a
Hoagland	0,41	0,41	0,42	0,41	0,41 ^b
Hewitt	0,40	0,40	0,41	0,40	0,40 ^b
Steiner	0,35	0,35	0,36	0,35	0,35 ^b
Rata – rata	0,45	0,45	0,45	0,45	

Angka yang diikuti dengan superskrip berbeda pada kolom rata-rata menunjukkan berbeda nyata menurut Uji Beda Nyata Terkecil ($P < 0,05$)

Berdasarkan Tabel 12 dapat diketahui bahwa perlakuan formulasi nutrisi berpengaruh terhadap kadar karotenoid selada merah. Formulasi nutrisi goodplant menunjukkan hasil tertinggi pada parameter kadar karotenoid dibandingkan dengan formulasi nutrisi lainnya dengan nilai sebesar 0,64 $\mu\text{mol/g}$, sedangkan formulasi nutrisi Hoagland menunjukkan hasil terendah dengan nilai sebesar 0,41 $\mu\text{mol/g}$ tidak berbeda nyata dengan formulasi nutrisi Hewitt (0,40 $\mu\text{mol/g}$) dan Steiner (0,35 $\mu\text{mol/g}$). Hal ini dikarenakan formulasi nutrisi goodplant diduga mampu menyediakan unsur hara yang seimbang, terutama nitrogen (N), kalium (K), dan

magnesium (Mg), yang berperan dalam proses sintesis pigmen fotosintetik termasuk karotenoid. Hal ini sesuai dengan pendapat . Hal ini sesuai dengan pendapat Zhang *et al.* (2023) yang menyatakan bahwa ketersediaan unsur hara yang optimal dalam sistem hidroponik dapat meningkatkan kandungan pigmen fotosintetik, termasuk karotenoid dan magnesium berperan penting dalam meningkatkan efisiensi fotosintesis serta sintesis pigmen. Rendahnya kadar karotenoid pada formulasi nutrisi Hoagland, Hewitt, dan Steiner diduga disebabkan oleh komposisi serta keseimbangan unsur hara yang kurang optimal dalam mendukung proses fisiologis tanaman, khususnya sintesis pigmen fotosintesis. Hal ini sesuai dengan pendapat Zushi *et al.* (2023) yang menyatakan bahwa nutrisi tanaman berperan penting dalam regulasi biosintesis pigmen fotosintesis, termasuk karotenoid, karena ketersediaan unsur hara yang optimal mendukung fungsi kloroplas, efisiensi fotosintesis, dan akumulasi senyawa pigmen tanaman.

Berdasarkan Tabel 12 perlakuan konsentrasi nanosilika tidak berpengaruh nyata pada parameter kadar karotenoid karena nanosilika tidak terlibat secara langsung dalam jalur biosintesis karotenoid, silika pada tanaman lebih berperan dalam peningkatan ketahanan terhadap cekaman biotik maupun abiotik dibandingkan sebagai pengatur utama pembentukan pigmen fotosintesis. Hal ini sesuai dengan pendapat Coskun *et al.* (2019) yang menyatakan bahwa silika bukan unsur hara esensial dan manfaatnya terhadap tanaman terjadi melalui peningkatan toleransi terhadap stres, bukan melalui pengaturan langsung proses metabolisme seperti sintesis pigmen fotosintesis. Interaksi antara perlakuan formulasi nutrisi dan konsentrasi nanosilika tidak berpengaruh signifikan pada parameter kadar

karotenoid karena kombinasi kedua perlakuan belum mampu meningkatkan akumulasi karotenoid secara nyata pada tanaman. Hal ini sesuai dengan pendapat Tripathi *et al.* (2020) yang menjelaskan bahwa efek silika terhadap proses fisiologis tanaman umumnya lebih nyata pada kondisi stres, karena pada kondisi tanpa cekaman, tanaman cenderung telah berada pada tingkat metabolisme yang optimal sehingga tambahan silika tidak lagi memberikan pengaruh sinergis yang berarti terhadap pembentukan pigmen fotosintesis seperti karotenoid.

4.3.11. Kadar air

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan formulasi nutrisi berpengaruh nyata terhadap kadar air selada merah (Lampiran 17). Perlakuan konsentrasi nanosilika tidak berpengaruh nyata terhadap kadar air selada merah. Interaksi perlakuan formulasi nutrisi dengan konsentrasi nanosilika tidak berpengaruh signifikan terhadap kadar air selada merah. Hasil uji BNT kadar air karena pengaruh formulasi nutrisi dan konsentrasi nanosilika dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Kadar Air Selada Merah dengan Perlakuan Formulasi Nutrisi dan Konsentrasi Nanosilika.

Formulasi Nutrisi	Nanosilika (v/v)				Total Rata - rata
	0%	0,25%	0,50%	0,75%	
	-----%-----				
Goodplant	85,09	85,05	85,19	85,08	85,10 ^b
Hoagland	93,81	93,80	93,80	93,75	93,78 ^a
Hewitt	91,45	91,36	91,40	91,39	91,40 ^{ab}
Steiner	93,14	93,16	92,84	92,92	93,01 ^a
Rata – rata	90,87	90,84	90,80	90,79	

Angka yang diikuti dengan superskrip berbeda pada kolom rata-rata menunjukkan berbeda nyata menurut Uji Beda Nyata Terkecil ($P < 0,05$)

Berdasarkan Tabel 13 dapat diketahui bahwa perlakuan formulasi nutrisi berpengaruh nyata terhadap kadar air selada merah. Formulasi nutrisi Hoagland menunjukkan hasil optimal pada parameter kadar air nilai sebesar 93,78% tidak berbeda nyata dengan formulasi nutrisi Steiner (93,01%) dan Hewitt (91,40%), sedangkan formulasi nutrisi goodplant menunjukkan hasil terendah pada parameter kadar air dengan nilai sebesar 85,10%. Tingginya hasil tersebut di duga karena formulasi nutrisi Hoagland, Hewitt dan Steiner memiliki komposisi unsur hara yang lengkap dan seimbang sehingga mampu meningkatkan kemampuan tanaman dalam menyerap air serta mempertahankan tekanan turgor sel. Hal ini sesuai dengan pendapat Rouphael dan Colla (2020) yang menyatakan bahwa larutan nutrisi Hoagland mengandung unsur kalium (K) yang berperan penting dalam pengaturan pembukaan stomata dan keseimbangan air dalam sel, sehingga proses penyerapan dan distribusi air pada jaringan tanaman menjadi lebih optimal. Hal ini sesuai dengan pendapat ini sesuai dengan pendapat Sambo *et al.* (2019) yang menyatakan bahwa kalium berperan penting dalam regulasi osmotik sel dan kontrol stomata, sehingga berpengaruh langsung terhadap status hidrasi tanaman dan sistem hidroponik dengan larutan nutrisi seimbang meningkatkan efisiensi serapan air oleh akar karena unsur hara tersedia dalam bentuk ion yang mudah diserap, sehingga meningkatkan kandungan air jaringan tanaman.

Nilai kadar air yang rendah pada formulasi nutrisi goodplant disebabkan oleh perbedaan konsentrasi ion dalam larutan nutrisi dapat memengaruhi potensial osmotik sel sehingga proses penyerapan air melalui mekanisme osmosis menjadi berbeda dan menyebabkan kemampuan sel dalam mempertahankan tekanan turgor

dan kandungan air jaringan menjadi kurang optimal, sehingga kadar air tanaman lebih rendah. Hal ini sesuai dengan pendapat Carillo *et al.* (2023) yang menyatakan bahwa status air tanaman dipengaruhi oleh keseimbangan unsur hara dan regulasi osmotik sel, di mana perubahan konsentrasi ion dalam jaringan dapat memengaruhi pergerakan air, distribusi air antarsel, serta kemampuan tanaman dalam mempertahankan hidrasi jaringan. Menurut Abdelrahman *et al.* (2023) ketidakseimbangan nutrisi dapat memengaruhi fungsi fisiologis tanaman, termasuk regulasi stomata, tekanan turgor sel, dan efisiensi transport air dalam jaringan, sehingga kemampuan tanaman dalam mempertahankan kandungan air dapat menurun.

Berdasarkan Tabel 13 perlakuan konsentrasi nanosilika tidak berpengaruh nyata pada parameter kadar air diduga karena nanosilika tidak terlibat secara langsung dalam reaksi kimia yang mengatur penyerapan dan penyimpanan air di dalam jaringan tanaman. Hal ini sesuai dengan pendapat Luyckx *et al.* (2017) yang menyatakan bahwa pengaruh silika terhadap air tanaman terjadi melalui perbaikan sifat fisiologis seperti efisiensi penggunaan air dan stabilitas membran sel, bukan melalui keterlibatan langsung dalam proses kimia penyerapan air. Interaksi antara perlakuan formulasi nutrisi dan konsentrasi nanosilika tidak berpengaruh signifikan pada parameter kadar air diduga karena tidak terjadi interaksi yang. Hal ini sesuai dengan pendapat Van Bockhaven *et al.* (2023) yang menyatakan bahwa peran utama silika dalam tanaman berkaitan dengan pemeliharaan stabilitas fisiologis dan perlindungan terhadap stres, sehingga pengaruhnya terhadap air tanaman sangat bergantung pada kondisi lingkungan dan tingkat cekaman yang dialami tanaman.

4.3.12. Kerapatan stomata

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan formulasi nutrisi berpengaruh nyata terhadap kerapatan stomata selada merah (Lampiran 18). Perlakuan konsentrasi nanosilika tidak berpengaruh nyata terhadap kerapatan stomata selada merah. Interaksi perlakuan formulasi nutrisi dengan konsentrasi nanosilika tidak berpengaruh signifikan terhadap kerapatan stomata selada merah. Hasil uji BNT kerapatan Stomata karena pengaruh formulasi nutrisi dan konsentrasi nanosilika dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 14. Kerapatan Stomata Selada Merah dengan Perlakuan Formulasi Nutrisi dan Konsentrasi Nanosilika.

Formulasi Nutrisi	Nanosilika (v/v)				Total Rata - rata
	0%	0,25%	0,50%	0,75%	
	-----stomata/mm ² -----				
Goodplant	11,67	11,46	11,03	11,34	11,37 ^a
Hoagland	6,58	5,85	6,53	6,61	6,39 ^{ab}
Hewitt	9,62	10,31	9,39	9,42	9,68 ^a
Steiner	4,45	4,45	4,04	4,48	4,35 ^b
Rata – rata	8,08	8,02	7,74	7,96	

Angka yang diikuti dengan superskrip berbeda pada kolom rata-rata menunjukkan berbeda nyata menurut Uji Beda Nyata Terkecil ($P < 0,05$)

Berdasarkan Tabel 14 dapat diketahui bahwa perlakuan formulasi nutrisi berpengaruh nyata terhadap kerapatan stomata selada merah. Formulasi nutrisi goodplant menunjukkan hasil optimal pada parameter kerapatan stomata dengan nilai sebesar 11,37 stomata/mm² tidak berbeda nyata dengan formulasi nutrisi Hewitt (9,68 stomata/mm²) dan Hoagland (6,39 stomata/mm²), sedangkan formulasi nutrisi Steiner menunjukkan hasil terendah dengan nilai sebesar 4,35 stomata/mm². Hal ini dikarenakan formulasi nutrisi goodplant, Hewitt dan Hoagland diduga mampu memenuhi kadar nitrogen dalam nutrisi karena kerapatan

stomata sangat dipengaruhi oleh ketersediaan nitrogen (N) yang berperan penting dalam proses pembelahan dan diferensiasi sel yang berperan dalam pembentukan jaringan baru, termasuk jaringan epidermis daun tempat stomata berkembang. Hal ini sesuai dengan pendapat Wang *et al.* (2023) yang menyatakan bahwa nitrogen berperan sebagai unsur hara utama yang mengatur pertumbuhan vegetatif tanaman melalui peningkatan sintesis protein, pembelahan sel, dan perkembangan jaringan daun sehingga memengaruhi karakter anatomi daun termasuk perkembangan stomata. Kerapatan stomata pada formulasi Steiner lebih rendah diduga berkaitan dengan perbedaan komposisi ion dalam larutan nutrisi yang memengaruhi aktivitas fisiologis dan reaksi osmotik pada jaringan daun, ketidakseimbangan rasio ion seperti NO_3^- , K^+ , dan Ca^{2+} dapat memengaruhi potensial osmotik sel serta regulasi tekanan turgor yang berperan penting dalam pembelahan dan pembesaran sel epidermis. Hal ini sesuai dengan pendapat Abdelrahman *et al.* (2023) yang menyatakan bahwa keseimbangan unsur hara dalam larutan nutrisi berperan dalam mengatur proses fisiologis tanaman melalui regulasi osmotik, aktivitas enzim, serta pembelahan dan diferensiasi sel yang menentukan perkembangan struktur epidermis termasuk stomata.

Berdasarkan Tabel 14 perlakuan konsentrasi nanosilika tidak berpengaruh nyata pada parameter kerapatan stomata diduga karena konsentrasi nanosilika tidak terlibat langsung dalam reaksi biokimia pembentukan stomata, terutama pada proses diferensiasi sel epidermis dan sel penjaga. Hal ini sesuai dengan pendapat Liang *et al.* (2023) yang menyatakan bahwa SiO_2 -nanopartikel lebih berperan dalam peningkatan fotosintesis dan regulasi fisiologis tanaman melalui perbaikan

aktivitas enzim dan efisiensi metabolisme, bukan pada pembentukan struktur anatomi seperti stomata. Interaksi antara perlakuan formulasi nutrisi dan konsentrasi nanosilika tidak berpengaruh signifikan pada parameter kerapatan stomata diduga karena tidak terjadi interaksi kimia yang cukup kuat antara ion hara (NO_3^- , K^+ , Ca^{2+}) dengan nanosilika yang dapat memicu perubahan fisiologis pada pembentukan stomata, penambahan nanosilika tidak lagi memberikan pengaruh tambahan yang berarti terhadap aktivitas diferensiasi sel penjaga stomata pada kondisi lingkungan optimal. Hal ini sesuai dengan pendapat Faisal *et al.* (2025) yang menyatakan bahwa nanosilika dapat meningkatkan fotosintesis, serapan nutrisi, dan aktivitas enzim, tetapi efeknya sangat dipengaruhi kondisi lingkungan dan lebih dominan pada tanaman yang mengalami stres.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan disimpulkan bahwa perlakuan formulasi nutrisi goodplant efektif pada peningkatan tinggi tanaman, jumlah daun, panjang akar, bobot segar dan bobot kering akar, bobot segar dan bobot kering tajuk, kadar klorofil, kadar karotenoid dan kerapatan stomata. Perlakuan formulasi nutrisi Hoagland efektif pada peningkatan tinggi tanaman, panjang akar, bobot segar akar, bobot segar tajuk, kadar air dan kerapatan stomata. Perlakuan formulasi nutrisi Hewitt efektif pada peningkatan bobot segar tajuk, kadar air dan kerapatan stomata. Perlakuan formulasi nutrisi Steiner efektif pada peningkatan bobot segar dan bobot kering akar, serta kadar air. Perlakuan konsentrasi nanosilika (v/v) 0,50% efektif pada peningkatan jumlah daun selada merah. Tidak terdapat pengaruh interaksi antara formulasi nutrisi dan konsentrasi nanosilika terhadap semua parameter yang diamati.

5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya yaitu diperlukan konsentrasi nanosilika yang lebih tinggi untuk mengetahui tingkat konsentrasi nanosilika yang optimal. Konsentrasi nanosilika yang optimal diharapkan mampu memberikan hasil yang terbaik pada budidaya selada merah dalam sistem hidroponik vertikal.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdel Hakim, S. G., Shehata, A. S. A., Moghannem, S. A., Qadri, M., El-Ghany, M. F. A., Abdeldaym, E. A., dan Darwish, O. S. 2023. Nanoparticulate fertilizers increase nutrient absorption efficiency and agro-physiological properties of lettuce plant. *J. Agronomy*, 13(3): 6 – 91.
- Abdelrahman, M., El-Sayed, M. A. I., Salem, M. Z. M., El-Esawi, H. A., Hashem, M. F., Awad, E. F. A., dan El-Tarabily, K. A. 2023. Plant responses to nutrient imbalance: physiological and molecular perspectives .*J. Plants*, 12(5): 1180. <https://doi.org/10.3390/plants12051180>
- Ainina, A. N., dan Aini, N. 2018. Konsentrasi nutrisi AB mix dan media tanam terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman selada merah (*Lactuca sativa* L.) dengan sistem hidroponik substrat. *J. Produksi Tanaman*, 6(8): 1684 – 1693.
- Anindyarasmi, D., Budiyanto, S., dan Purbajanti, E. D. 2021. Respon selada merah (*Lactuca sativa* L.) akibat perlakuan daya led (*light-emitting diode*) dan posisi tanaman pada sistem hidroponik tower. *J. Agro Complex*, 5(1): 49 – 56.
- Asetya, D. R. 2023. Respon pertumbuhan selada terhadap warna penyinaran lampu dan pupuk sulfur silika dengan hidroponik sistem wick. *J. Produksi Tanaman*, 6(8): 16 – 45.
- Awad-Allah, E. F. A. 2022. Effectiveness of silica nanoparticle application as plant nano-nutrition: a review. *J. Plant Nutrition*, 46(11): 2763 – 2777. <https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2160735>
- Carillo, P., Ciriello, M., Cirillo, C., Formisano, L., De Pascale, S., Romano, R., Fusco, G. M., Nicastro, R., Kyriacou, M. C., Soteriou, G. A., dan Rouphael, Y. 2023. Plant water relations and osmotic adjustment under varying nutrient conditions. *J. Plants*, 12(6): 1204. <https://doi.org/10.3390/plants12061204>
- Clarah, S., Hastuti, R. B., dan Darmanti, S. 2017. Pengaruh pupuk nanosilika terhadap pertumbuhan, ukuran stomata dan kandungan klorofil cabai rawit (*Capsicum frutescens* Linn) varietas Cakra Hijau. *J. Akademika Biologi*, 6(2): 26 – 33.
- Coskun, D., Deshmukh, R., Sonah, H., 2023. The role of silicon in plant biology and agriculture: a critical review. *J. Plant Physiology and Biochemistry*, 196: 107654. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.107654>

- Derafi, R., Ullah, A., Maria, P. S., dan Faizal, A. 2024. Pemantauan Kelembapan dan Pengendalian Suhu Serta Pemberian Nutrisi Selada di Prototype Greenhouse dengan Nutrient Film Technique Berbasis IoT. *J. Media Informatika Budidarma*, 8(3): 67 – 68. <https://ejurnal.stmik-budidarma.ac.id/index.php/mib/article/view/7674>
- Dewanti, P., Hariyono, K., dan Setyono, Y. 2024. Penggunaan larutan nutrisi Hoagland pada sistem hidroponik vertikal dan pengaruhnya terhadap pertumbuhan tanaman sayuran. *J. Agrikultura*, 35(1): 45 – 54.
- Direktorat Gizi Kesehatan RI. 1991. Daftar Komposisi Bahan Makanan Indonesia. Jakarta: Departemen Kesehatan Republik Indonesia.
- Dwidjoseputro. 2023. Dasar – Dasar Mikrobiologi. *J. Mikrobiologi*, 1(2): 526 – 531.
- El-Saady, A. M., Mohamed, H. I., dan Abdel-Rahman, M. 2023. Effect of nutrient solution types on growth and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.) under high light intensity conditions. *J. Horticulturae*, 9(3): 312. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9030312>
- Etesami, H., dan Jeong, B. R. 2022. Silicon nanoparticles in plant stress mitigation: uptake, transport and physiological effects. *J. Plants*, 11(3): 345. <https://doi.org/10.3390/plants11030345>
- Faisal, M., Bilmez Ozcinar, A., Karadeniz, E., Faizan, M., Sultan, H., dan Alatar, A. A. 2025. Supplementation of silicon oxide nanoparticles mitigates the damaging effects of arsenic stress on photosynthesis, antioxidant mechanism and nitrogen metabolism in *Brassica juncea*. *Scientific Reports*, 15: 21476. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-04553-9>
- Febriyanto, Y., dan Septiyani, K. 2019. Uji Aktivitas Antioksidan Ekstrak Etanol Daun Selada Merah (*Lactuca sativa* var. *acephala*) dengan Menggunakan 1,1-Difenyl-2- Picrylhydrazyl (DPPH). *J. Farmasi dan Sains Indonesia*, 2(2): 36 – 41.
- Fitriani, R., dan Rahmawati, S. 2023. Pengaruh beberapa jenis nutrisi hidroponik terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman selada (*Lactuca sativa* L.) pada sistem rakit apung. *J. Filogeni*, 2(2): 45 – 53.
- Gupta, U. C., dan Gupta, S. C. 2022. Role of macro and micronutrients in crop production and plant health. *J. Agronomy*, 12(4): 845 – 860. <https://doi.org/10.3390/agronomy12040845>

- Hanafiah, K. A. 2019. Rancangan percobaan: Teori dan aplikasi. Jakarta: PT Raja Grafindo Persada. https://e-library.ft.unma.ac.id/index.php?id=8779&keywords=&p=show_detail
- Handayani, M., dan Muhidin. 2022. Sistem pengendali nutrisi dan pH air pada tanaman hidroponik selada. J. Teknik Elektro dan Sains, 9(2). <https://doi.org/10.32832/juteks.v9i2.13505>
- Hasanah, A.E., dan Murdono, D. 2023. Pengaruh Berbagai Buffer Ph 6,5 Pada Beberapa Nutrisi Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Stroberi (*Fragaria Sp.*) Secara Hidroponik Dengan Sistem Rakit Apung. J. Pertanian Agros, 25(2): 1736 – 1741.
- Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M. H. M. B., Raza, A., Hawrylak-Nowak, B., Nahar, K., Fujita, M., dan Islam, M. S. 2018. Silicon in plants: Uptake, transport, and physiological effects. J. Molecular Sciences, 19(10): 3105. <https://doi.org/10.3390/ijms19103105>
- Herdianto, D. W., Cahyadi, W., dan Ni'am, M. K. 2021. *Prototype* Sistem Kontrol dan Monitoring Suhu Udara dan Air Nutrisi pada Greenhouse Hidroponik Tanaman Selada Berbasis Telegram. J. Pertanian Agros, 2(2): 173 – 174.
- Hoang, T. T. H., Nguyen, T. T. D., dan Le, T.T. 2023. Natural sourced and non-toxic hybrid materials for boosting the growth of lettuce in a hydroponic system. J. Natural Sciences, 8(1): 45 – 52.
- Hunt, R. 2017. *Basic Growth Analysis: Plant Growth Analysis for Beginners*. Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-009-1289-5>
- Imtiaz, M., Rizwan, M. S., dan Ashraf, M. 2023. Silicon in plants: roles in growth, development and stress tolerance. J. Environmental Science and Pollution Research, 30: 11245 – 11260. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23014-7>
- Jamilah, dan Bukhari. 2022. Pengaruh Naungan Dan Kandungan Nutrisi Good-Plant Terhadap Pertumbuhan Tanaman Selada (*Lactuca Sativa L.*) Secara Hidroponik. J. Real Riset, 4(1): 235 – 566.
- Jamilatur, R., Rini, S.C., dan Wulandari, E.F. 2019. Uji Aktivitas Sitotoksik Ekstrak Selada Merah (*Lactuca sativa var. Crispa*) Pada Berbagai Pelarut Ekstraksi Dengan Metode BSLT. J. Kimia Riset, 4 (1) : 18 – 32.
- Jonet, R. V., Fevria, R., Violita, V., Handayani, D., Arjulis, W. 2024. Perbandingan Pertumbuhan Tanaman Selada Hijau (*Lactuca sativa L.*) di Dalam dan Di Luar *Greenhouse* yang Dibudidayakan Secara Hidroponik. J. Pendidikan Tambusai, 8(2): 17941–17950. <https://jptam.org/index.php/jptam/article/view/14897>

- Khan, M. S., Ali, A., Zafar, M. U., Alam, S., Bibi, S., Naseer, A., Ali, N., Rashid, M. I., dan Shahzad, K. 2025. Nanotechnology in agriculture: Enhancing crop yield and sustainability. J. Unique Scientific Publishers, 3(2): 51–57. <https://doi.org/10.47278/book.HH/2025.414>
- Kim, Y. J., Lee, S. H., Park, J. H., dan Choi, K. Y. 2024. Effects of nanosilicon application on growth and physiological responses of hydroponic lettuce. J. Horticulturae, 10(2): 145. <https://doi.org/10.3390/horticulturae1002014>
- Kusmiyati, F., Purbajanti, D.E., Anwar, S., Sas, A.G.M., Safitri, D., dan Putra, P.F. 2023. The Yield of Pakchoi and Lettuce under Different Nutrient Formulations with a Hydroponic Raft System. J. Scientific and Research Publications, 13(6): 2250 – 3153.
- Lekshmi, K., dan Sreekumar, S. 2025. Optimizing Hydroponic Nutrient Solutions for Enhanced Growth, and Root Biomassa for the Growth of Pakchoi Plants (*Brassica rapa var. chinensis*). J. Advances in Biology & Biotechnology, 28(5):151 – 166.
- Lestari, I. A., Rahayu, A., dan Mulyaningsih, Y. 2022. Pertumbuhan Dan Produksi Tanaman Selada (*Lactuca sativa* L.) Pada Berbagai Media Tanam dan Konsentrasi Nutrisi Pada Sistem Hidroponik *Nutrient Film Technique* (NFT). J. Agronida, 8(1): 31 – 39.
- Lestari, M., Listiawati, A., dan Arifin, N. 2017. Pengaruh Paket Nutrisi Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Selada Secara Hidroponik (Tidak Dipublikasikan).
- Li, M., Wei, J. H., Wei, B. K., Chen, Z. Q., Liu, H. L., Zhang, W. Y., Li, X. Y., dan Zhou, D. M. 2024. Metabolic response of lettuce (*Lactuca sativa* L.) to polystyrene nanoplastics and microplastics after foliar exposure. J. Environmental Science, 11: 4847 – 4861. <https://doi.org/10.1039/D4EN00233D>
- Liang, Y., Liu, H., Fu, Y., Li, P., Li, S., dan Gao, Y. 2023. Regulatory effects of silicon nanoparticles on the growth and photosynthesis of cotton seedlings under salt and low-temperature dual stress. J. *Plant Biology*, 23: 504. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04509-z>
- Luyckx, M., Hausman, J. F., Lutts, S., dan Guerriero, G. 2017. Silicon and plants: Current knowledge and technological perspectives. J. *Frontiers in Plant Science*, 8(3): 1 – 8. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00411>
- Mardiansah, A., Siregar, T. H., dan Sumirat, I. 2024. Sistem Monitoring Suhu Air dan Nutrisi Kebun Hidroponik untuk Tanaman Selada Berbasis IoT. J. Teknik Elektro dan Sains. [JuTEkS UIKA Bogor](#)

- Marschner, H. 1986. Mineral nutrition in higher plants. *J. Agriculture Science*, 5(1): 7899 – 9879.
- Marwati, A., dan Hanum, N. N. 2023. Vertical greening sebagai ruang urban farming hidroponik pada bangunan rumah tinggal. *J. Arsitektur*, 3(2). <https://doi.org/10.32546/rustic.v3i2.2038>
- Mautuka, Z. A., Astriana Maifa, dan Karbeka, M. 2022. Pemanfaatan Biochar Tongkol Jagung Guna Perbaikan Sifat Kimia Tanah Lahan Kering. *J. Ilmiah Wahana Pendidikan*, 8(1): 88 – 99. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5827375>
- Mir, R. A., Bhat, B. A., Yousuf, H., Islam, S. T., Raza, A., Rizvi, M. A. 2022. Multidimensional role of silicon to activate resilient plant growth and to mitigate abiotic stress. *J. Frontiers in Plant Science*, 1(3): 81 – 658. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.819658>
- Morgan, L. 2020. Hydrponic Capsicum Production A Comprehensive Practice and Scientice Guinde to Commercial Hydroponic Capsicum Production. *J. Casper Publication*, 2(1): 17 – 22.
- Mumpuni, S. 2023. Respon pertumbuhan dan produksi tanaman selada romaine terhadap kondisi lahan. *J. Pertanian*, 14(2): 45 – 53.
- Munardianto, M., dan Ernita, E. 2022. Pengaruh Nutrisi Goodplant dan Gandasil B terhadap Produksi Tanaman Mentimun (*Cucumis sativus L.*) secara Hidroponik NFT. *J. Agroteknologi, Agribisnis, dan Akuakultur*, 2(2): 95 – 106.
- Muriyatmoko, D. 2022. Sistem monitoring jarak jauh kontrol pH tanaman selada dengan media hidroponik. *J. Teknologi Terpadu*, 11(1). <https://doi.org/10.32487/jtt.v11i1.1707>
- Muttulani, M. A. J. 2025. Enhancing hydroponic leaf lettuce production through optimized nutrient formulations. *J. Agriculture*. <https://doi.org/10.13057/asianjagric/g090208>
- Nguyen, T. H., Do, P. T., Nguyen, N. T. T., Nguyen, V. T., Bui, T. M., Le, T. P. D., dan Hoang, T. K. T. 2023. Natural sourced and non-toxic hybrid materials for boosting the growth of lettuce in a hydroponic system. *J. Scientific Reports*, 13(1): 11 – 23.
- Pan, W., Zhang, H., Wang, M., 2023. Silica nanoparticle accumulation in plants: current state and future perspectives. *J. Nanoscale*, 15: 15079 – 15091. <https://doi.org/10.1039/D3NR02221HA>

- Paramita, W.N., dan Yuliani. 2022. Efektivitas Pupuk Organik Cair dengan Penambahan Silika sebagai Media Tanam Hidroponik Pakcoy (Licquid Organic Fertilizer Effectiveness with Addition of Silica as a Planting Media for Pakcoy Hydroponics). *J. Biologi*, 11(1): 36 – 43.
- Pineda, P. J., Gómez, J. M., dan Rodríguez, L. 2018. Response of lettuce (*Lactuca sativa* L.) to Steiner nutrient solution under hydroponic conditions. *J. Horticulturae*, 1206:123–130.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1206.16>
- Pratomo, G.W., Puspaningrum, A.S., dan Ismail, I. 2025. Implementasi Sistem Otomatisasi Sirkulasi Udara Menggunakan *Fan Exhaust* Berbasis Sensor DHT21 pada Vertikal Hidroponik. *J. Homepage*, 5(2): 656 – 663.
- Putra, G.A.A., Gunamanta, G.P., dan Winten, I.T.K. 2021. Pemberian Nutrisi Goodplant Pada Berbagai Umur Bibit Secara Hidroponik Sistem Nft Terhadap Hasil Tanaman Selada Merah. *J. Ganec Swara*, 15(1) : 842 – 848.
- Putri, R. E., Oktavionry, P. A., Arlius, F., Putri, I., dan Hasan, A. 2023. Use of tower system in vertical farming technique. *J. Earth and Environmental Science*, 1182(1): 012005. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1182/1/012005>
- Qurrohman, B.F.T. 2019. Bertanam Selada Hidroponik Konsep dan Aplikasi. *J. Agrovigor*, 5(1): 42 – 48.
- Rahmaati, S., Sasli, I., dan Pramulya, M. 2025. Pengaruh Larutan Nutrisi Hidroponik Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Pakcoy Secara Hidroponik. *J. Sains Pertanian Equator*, 10(2): 1 – 6.
- Rahmawati, A., Prasetyo, T., dan Lestari, D. 2022. Respon pertumbuhan tanaman selada terhadap konsentrasi nutrisi Goodplant pada sistem hidroponik rakit apung. *J. Riset Pertanian Terapan*, 4(1): 45 – 52.
- Rahmawati, D., Suryanto, A., dan Kurniawan, E. 2020. Pengaruh pemberian nutrisi Goodplant terhadap pertumbuhan dan hasil selada (*Lactuca sativa* L.) secara hidroponik. *J. Agroteknologi dan Riset Pertanian*, 4(2): 85 – 92.
- Rajashekar, C. B., dan Armstrong, B. 2024. Effect of titanium dioxide nanoparticles on growth and biomass accumulation in lettuce (*Lactuca sativa*). *J. Plant Sciences*, 15(1); 1–13. <https://doi.org/10.4236/ajps.2024.151001>
- Ramírez-Rodríguez, S. C., Preciado-Rangel, P., Cabrera-De La Fuente, M., dan Ortega-Ortiz, H. 2024. Chitosan nanoparticles as biostimulant in lettuce (*Lactuca sativa* L.) plants. *J. Experimental Botany*, 93(4): 777 – 787.
<https://doi.org/10.32604/phyton.2024.048096>

- Resh, H. M. 2023. Hydroponic food production: A definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower. CRC Press.
- Rif'an, M., Widyasunu, P., Widarawati, R., dan Ummami, N. R. 2024. Pengaruh perbedaan nutrisi fosfor dan media tanam terhadap pertumbuhan tanaman melon (*Cucumis melo* L.) hidroponik sistem irigasi tetes. J. AGRO, 11(1): 172 – 186. <https://doi.org/10.15575/31140>
- Rios, J. J., Martínez-Ballesta, M. C., Ruiz, J. M., dan Carvajal, M. 2023. Silicon-mediated improvement in nutrient uptake and root development under hydroponic conditions. J. Frontiers in Plant Science, 1(4): 118 – 776. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1187765>
- Romalasari, A., dan Sobari, E. 2019. Produksi selada (*Lactuca sativa* L.) menggunakan sistem hidroponik dengan perbedaan sumber nutrisi. J. Agricultural Sciences, 3(1): 36 – 41. <https://doi.org/10.25047/agriprima.v3i1.158>
- Rouphael, Y., Colla, G., Siddiqi, M., El-Nakhel, M. S., De Pascale, S., dan Tei, F. 2022. Plant physiological responses to soilless culture nutrient management. J. Frontiers in Plant Science, 13: 1012345. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1012345>
- Rouphael, Y., dan Colla, G. 2020. Biostimulants in agriculture. J. Frontiers in Plant Science, 11: 40. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040>
- Rouphael, Y., dan Colla, G. 2020. Toward a sustainable agriculture through plant biostimulants: From experimental data to practical applications. J. Agronomy, 10(5): 707. <https://doi.org/10.3390/agronomy10050707>
- Rubatzky, V. E., dan Yamaguchi, M. 1998. Examining preharvest genetic and morphological factors contributing to lettuce (*Lactuca sativa* L.) shelf-life. Scientific Reports, 14: 6618. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-55037-1>
- Ryder, E. J., dan Whitaker, T. W. 1982. Leafy vegetables. Westport, Connecticut: AVI Publishing Company.
- Sambo, P., Nicoletto, C., Zanin, G., Mariani, P., Giuffrida, F., Pii, Y., Pilati, S., Terzano, R., Cesco, S., dan Valentini, G. 2019. Hydroponic vegetable production: Principles and practices. J. Agronomy, 9(10): 580. <https://doi.org/10.3390/agronomy9100580>
- Sapkota, S., Young, T. M., dan Coors, J. G. 2019. Effects of nutrient composition and lettuce cultivar on crop production in hydroponic culture. J. Horticulturae, 5(4): 72. <https://doi.org/10.3390/horticulturae5040072>

- Sari, D. P., Kusumanto, R. D., dan Mardiyansah. 2023. Sistem kendali irigasi otomatis pada pertanian hidroponik vertikal berbasis Internet of Things (IoT). *J. Applied Smart Electrical Network and Systems*, 4(2): 60 – 67. <https://doi.org/10.52158/jasens.v4i2.915>
- Savvas, D., dan Gruda, N. 2018. Application of soilless culture technologies in the modern greenhouse industry. *J. Horticultural Science*, 83(5): 280 – 293.
- Soufi, H.R., Roosta, H.R., dan Hamidpour, M. 2023. The plant growth, water and electricity consumption, and nutrients uptake are influenced by different light spectra and nutrition of lettuce. *Scientific Reports*, 13: 20766.
- Sumiahadi, A., Wulandari, Y. A., dan Putri, D. 2024. Studi Karakteristik Morfologi Beberapa Varietas Tanaman Selada (*Lactuca sativa* L.) Hasil Introduksi. *J. Agroteknologi*, 14(2): 73 – 84.
- Supriyadi., Martino, D., dan Indraswari, E. 2017. Pengaruh Naungan Terhadap Pertumbuhan Selada Merah (*Lactuca sativa* L.) Secara Hidroponik Sistem Wick. *J. Pertanian*, 1(1):1 – 8.
- Sutrisno, E., dan Nugroho, B. 2019. Pengaruh konsentrasi nutrisi terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman selada pada sistem hidroponik. *J. Agribisnis dan Agroteknologi*, 3(1): 45 – 52.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., dan Murphy, A. 2023. *Plant Physiology and Development* (edisi terbaru). Oxford University Press.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., dan Murphy, A. 2025. *Plant Physiology and Development*. J. Sinauer Associates, 2(8): 53 – 64.
- Tifani, A. A. Z., Wijaya, A. A., Dani, U., dan Komala, A. 2023. Pengaruh berbagai dosis nutrisi terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman selada (*Lactuca sativa* L.) pada hidroponik sistem sumbu. *J. Ilmu-Ilmu Pertanian dan Peternakan*, 11(2): 274–279. <https://doi.org/10.31949/agrivet.v11i2.7939>
- Trejo-Téllez, L. I., dan Gómez-Merino, F. C. 2020. Nutrient solutions for hydroponic systems: Composition and management. *Plants*, 9(2): 202. <https://doi.org/10.3390/plants9020202>
- Tripathi, D. K., Singh, S., Singh, S., Singh, V. P., Chauhan, D. K., Prasad, S. M., Dubey, N. K., dan Chauhan, P. S. 2017. Silicon nanoparticles: A potential tool for plant growth and stress tolerance. *J. Plant Physiology and Biochemistry*, 110: 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.09.012>

- Utama, A. I., Elsa S. H., Mulia, Rani W., dan Fevria R. 2021. Pengaruh Nutrient AB MIX Terhadap Perkembangan Tanaman Kale (*Brassica oleraceae* Var. *Acephala*) dengan Menggunakan Metode Hidroponik. *J. Hidroponik*, 7(4): 56 – 105.
- Van Bockhaven, Jonas, De Vleeschauwer, D., dan Höfte, M. 2023. Towards establishing broad-spectrum disease resistance in plants: silicon leads the way. *J. Experimental Botany*.
- Van Brenk, J. B., Courbier, S., Kleijweg, C. L., Verdonk, J. C., dan Marcelis, L. F. M. 2024. Paradise by the far-red light: Far-red and red:blue ratios independently affect yield, pigments, and carbohydrate production in lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Frontiers in Plant Science*, 15: 1383100. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.138310>
- Vought, L. B. M., Bugbee, B., Massa, G. D., dan Sanyal, S. K. 2024. Nutrient solution composition and its impact on plant growth in soilless culture systems. *J. Scientia Horticulturae*, 324: 112587. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.112587>
- Wang, X.. 2021. Nitrogen application enhances chlorophyll content and photosynthetic capacity in leafy vegetables. *J. Agronomy*, 11(5): 1 – 12. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050987>
- Wang, Yi-Yun, Hsu, Pei-Kuang, dan Tsay, Yih-Fang 2023. Nitrate transport, signaling, and use efficiency. *J. Plant Biology*, 74: 789 – 815.
- Wasonowati, C. 2018. Pengaruh Nutrisi dan Interval Pemberiannya Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Selada (*Lactuca Sativa* L.) dengan Teknologi Hidroponik Rakit Apung. *J. Rekayasa*, 5(1): 566 – 677.
- Wijaya, A., dan Fajriani, S. 2022. Pertumbuhan dan hasil selada pada metode hidroponik sistem sumbu dengan kerapatan naungan dan konsentrasi nutrisi yang berbeda. *J. Produksi Tanaman*, 10(2). <https://doi.org/10.21776/ub.protan.2022.010.10.02>
- Wijayani, A., 2020. Budidaya selada secara hidroponik; Pengaruhnya terhadap serapan nitrogen dalam buah. *J. Agrivet*, 4(7): 60 – 65.
- Yuan, X., Wang, Z., dan Peijnenburg, W. J. G. M. 2024. Molecular characterization and transcriptional response of *Lactuca sativa* seedlings to co-exposure to graphene nanoplatelets and titanium dioxide nanoparticles. *J. Ecotoxicology and Environmental Safety*, 282: 116761. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116761>

- Zhang, X., Liu, Y., Wang, J., Chen, L., dan Zhao, H. 2023. Optimizing nutrient supply improves photosynthetic pigment accumulation and growth performance in hydroponic leafy vegetables. *J. Frontiers in Plant Science*, 14: 1187654. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1187654>
- Zhao, R., Peng, H., Mohamed, F., dan Merah, O. 2025. Differential impact of SiO₂ foliar application on lettuce response to temperature, salinity, and drought stress. *J. Plants*, 14(12): 1845. <https://doi.org/10.3390/plants14121845>
- Zushi, K., Kajiware, S., dan Matsuzoe, N. 2023. Nutrient regulation of photosynthetic pigments and chloroplast function in leafy vegetables under controlled environments. *J. Horticulturae*, 9(2): 210. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9020210>