

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Rekapitulasi Hasil Analisis

Hasil analisis yang diperoleh dari rekapitulasi pada Tabel 1 menyajikan rekapitulasi hasil analisis ragam terhadap seluruh parameter pengamatan pertumbuhan dan produksi tanaman sayuran kale pada perlakuan konsentrasi AB Mix, media tanam, serta interaksi antara konsentrasi AB Mix dan media tanam. Rekapitulasi hasil analisis ini dapat bertujuan untuk memudahkan pembacaan hasil analisis secara keseluruhan, sehingga dapat diketahui parameter mana saja yang memberikan respon nyata maupun pengaruh respon tidak nyata terhadap perlakuan yang diberikan. Simbol yang terdapat pada (*) menunjukkan adanya pengaruh nyata terhadap parameter pengamatan yang dilakukan, sedangkan simbol (tn) menunjukkan bahwa perlakuan tidak memberikan pengaruh nyata terhadap parameter pengamatan yang dilakukan. Data terkait hasil penelitian ini telah disusun berdasarkan hasil analisis ragam dan parameter penelitian yang dipilih.

Tabel 1. Rekapitulasi Hasil Analisis

No	Parameter Pengamatan	Konsentrasi AB Mix (K1/K2/K3/K4)	Media Tanam (M1/M2)	Interaksi K × M
1	Tinggi Tanaman	tn	tn	tn
2	Jumlah Daun	*	*	tn
3	Panjang Akar	*	tn	*
4	Bobot Akar Tanaman	tn	*	*
5	Bobot Segar Tanaman	tn	tn	tn
6	Bobot Konsumsi Tanaman	tn	tn	tn
7	Kadar Karotenoid	tn	tn	tn
8	Kadar Klorofil a	tn	tn	tn
9	Kadar Klorofil b	tn	tn	tn
10	Kadar Klorofil Total	tn	tn	tn

Keterangan:

* = Berpengaruh nyata terhadap parameter pengamatan

tn = Tidak berpengaruh nyata terhadap parameter pengamatan

Berdasarkan yang tertera pada Tabel 1 perlakuan konsentrasi AB Mix memberikan pengaruh nyata terhadap parameter jumlah daun dan panjang akar, tetapi tidak berpengaruh nyata terhadap tinggi tanaman, bobot akar tanaman, bobot segar tanaman, bobot konsumsi tanaman, kadar karotenoid, kadar klorofil a, kadar klorofil b, dan kadar klorofil total. Jenis media tanam yang dapat memberi pengaruh nyata terhadap jumlah daun dan bobot akar tanaman, tetapi tidak berpengaruh nyata terhadap tinggi tanaman, panjang akar, bobot segar tanaman, bobot konsumsi tanaman, kadar karotenoid, kadar klorofil a, kadar klorofil b, dan kadar klorofil total. Interaksi antara konsentrasi AB Mix dan jenis media tanam yang memberikan pengaruh nyata terhadap panjang akar dan bobot akar tanaman, tetapi tidak berpengaruh nyata terhadap parameter lainnya, yaitu seperti pada tinggi tanaman, jumlah daun, bobot segar tanaman, bobot konsumsi tanaman, kadar karotenoid, kadar klorofil a, kadar klorofil b, serta pada kadar klorofil total.

4.1 Tinggi Tanaman

Berdasarkan hasil pada pengamatan parameter tinggi tanaman menunjukkan nilai ANOVA tidak cukup berpengaruh untuk menghasilkan perbedaan yang signifikan dalam tinggi tanaman pada seluruh variabel (Lampiran 1). Hasil pengamatan jumlah daun disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Tinggi tanaman Perlakuan Komposisi Media Tanam dan Konsentrasi AB Mix.

Media Tanam	Konsentrasi AB Mix (ppm)				Rerata
	800	900	1000	1100	
	----- (cm) -----				
Cocopeat	16,72	19,22	20,39	19,89	19,06
Arang Sekam	17,50	15,44	19,17	19,72	17,96
Rata Total	17,11	17,33	19,78	19,81	

* Superskrip berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan nyata ($P < 0,05$)

Berdasarkan Tabel 2 dan hasil ANOVA pada Lampiran 1, tinggi tanaman kale menunjukkan fluktuasi pada berbagai konsentrasi AB Mix (800–1100 ppm) dan media tanam (cocopeat serta arang sekam), tetapi perbedaannya tidak cukup besar untuk dinyatakan signifikan. Nilai F-hitung untuk perlakuan, konsentrasi, media, maupun interaksinya seluruhnya lebih kecil daripada F-tabel, sehingga variasi kedua faktor tersebut belum terbukti berpengaruh nyata terhadap tinggi tanaman. Hal ini sesuai dengan Shita (2020). Rentang konsentrasi nutrisi yang diuji relatif belum menimbulkan respons pertumbuhan yang berbeda secara statistik, atau karena pengaruh faktor lingkungan lain yang tidak diukur seperti suhu, intensitas cahaya, dan kelembapan lebih dominan dalam menentukan pertumbuhan tanaman.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan konsentrasi AB Mix dan media tanam tidak memberikan pengaruh nyata terhadap tinggi tanaman kale, meskipun secara numerik terdapat kecenderungan peningkatan tinggi tanaman pada

konsentrasi nutrisi yang lebih tinggi. Hal ini sangat berkaitan dan relevan dengan penelitian Alneyadi *et al.* (2024) yang menunjukkan bahwa respon tinggi tanaman dalam sistem *soilless culture* sangat dipengaruhi oleh komposisi larutan nutrisi, tetapi peningkatan nutrisi tidak selalu menghasilkan perbedaan pertumbuhan yang signifikan apabila kebutuhan dasar tanaman telah tercukupi. Dengan demikian, hasil penelitian ini dapat dijelaskan bahwa rentang konsentrasi AB Mix 800–1100 ppm kemungkinan masih berada dalam kisaran yang relatif mampu mendukung pertumbuhan tinggi tanaman secara seragam.

Penelitian menurut Alizaeh *et al.* (2025) juga relevan karena membandingkan pertumbuhan tanaman pada sistem hidroponik, aquaponik, dan tanah, dengan salah satu indikator berupa tinggi tanaman. Hasil kajian tersebut menegaskan bahwa sistem budidaya tanpa tanah dapat meningkatkan efisiensi serapan air dan hara, tetapi respons tinggi tanaman tetap dipengaruhi oleh stabilitas lingkungan perakaran dan keseimbangan nutrisi.

Tinggi tanaman kale yang tidak menunjukkan perbedaan nyata dapat dijelaskan melalui sifat respons tanaman terhadap konsentrasi nutrisi yang sudah berada dalam kisaran cukup. Penelitian yang dilakukan oleh Moremi *et al.* (2026) menunjukkan bahwa konsentrasi larutan nutrisi dan laju aliran dapat memengaruhi pertumbuhan tanaman pada sistem hidroponik, tetapi respons pertumbuhan tidak selalu meningkat secara linear ketika kebutuhan hara dasar telah terpenuhi. Hal ini mendukung hasil penelitian ini, karena rentang AB Mix 800 sampai 1100 ppm kemungkinan masih berada dalam batas yang mampu menopang pertumbuhan tinggi tanaman secara relatif seragam.

Hasil tersebut juga sejalan dengan Lei dan Engeseth (2021), yang menemukan bahwa pertumbuhan tajuk *lettuce* hidroponik tidak selalu berbeda nyata dibanding sistem tanam lain, walaupun respons akar tampak lebih jelas. Temuan ini memperkuat bahwa tinggi tanaman bukan selalu parameter paling sensitif untuk membaca perubahan perlakuan media dan nutrisi. Dengan demikian, tidak nyatanya tinggi tanaman kale dalam penelitian ini dapat dipahami sebagai akibat dari respons tajuk yang relatif stabil terhadap perlakuan yang diberikan.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa perlakuan konsentrasi AB Mix dan media tanam tidak memberikan pengaruh nyata terhadap tinggi tanaman kale. Temuan ini dapat diperkuat oleh penelitian Widyaputri *et al.* (2021) yang mengkaji efektivitas nutrisi AB Mix terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman kale. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa pemberian nutrisi AB Mix memang berperan dalam mendukung pertumbuhan vegetatif tanaman, termasuk tinggi tanaman, karena AB Mix menyediakan unsur hara makro dan mikro yang dibutuhkan untuk proses pembelahan dan pemanjangan sel. Namun, peningkatan konsentrasi nutrisi tidak selalu menghasilkan perbedaan tinggi tanaman yang nyata apabila kebutuhan dasar tanaman telah tercukupi. Dengan demikian, tidak nyatanya pengaruh perlakuan terhadap tinggi tanaman pada penelitian ini dapat dipahami bahwa rentang konsentrasi AB Mix 800–1100 ppm kemungkinan masih berada dalam kisaran yang relatif mampu mendukung pertumbuhan tinggi tanaman secara seragam.

Penelitian yang dilakukan oleh Fajri dan Soelistyono (2018) juga dapat memperkuat pembahasan tinggi tanaman karena membahas pertumbuhan sayuran kale pada perlakuan kerapatan tanaman dan pemupukan. Hasil penelitian tersebut

menegaskan bahwa tinggi tanaman kale dipengaruhi oleh ketersediaan unsur hara, terutama nitrogen, serta kondisi lingkungan tumbuh seperti ruang tumbuh, cahaya, dan kompetisi antar tanaman. Meskipun unsur hara berperan penting dalam pertumbuhan vegetatif, tinggi tanaman tidak selalu menunjukkan perbedaan nyata apabila faktor lingkungan lain lebih dominan atau apabila tanaman telah memperoleh hara dalam jumlah cukup. Oleh karena itu, hasil penelitian ini yang menunjukkan tidak adanya pengaruh nyata pada tinggi tanaman dapat dijelaskan bahwa variasi konsentrasi AB Mix dan media tanam belum cukup kuat untuk menimbulkan perbedaan pertumbuhan tinggi secara statistik.

4.4. Jumlah Daun

Berdasarkan hasil analisis ragam (ANOVA) (Lampiran 2) dapat disimpulkan bahwa perlakuan, konsentrasi AB Mix, dan media tanam berpengaruh signifikan terhadap jumlah helai daun tanaman kale. Hasil pengamatan jumlah daun disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Jumlah Daun Perlakuan Komposisi Media Tanam dan Konsentrasi AB Mix.

Media Tanam	Konsentrasi AB Mix (ppm)				Rerata
	800	900	1000	1100	
	----- (unit) -----				
Cocopeat	10,72	11,39	11,67	11,56	11,33 ^a
Arang Sekam	9,5	9,89	11,11	10,89	10,35 ^b
Rata Total	10,11 ^c	10,64 ^b	11,39 ^a	11,22 ^a	

* Superskrip berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan nyata ($P < 0,05$)

Berdasarkan Tabel 3 jumlah daun pada media cocopeat konsisten lebih tinggi dibanding arang sekam di setiap konsentrasi AB Mix, diduga karena cocopeat

lebih mampu menjaga kelembapan dan menyediakan aerasi perakaran yang mendukung pembentukan daun. Hal ini sesuai dengan Pratiwi *et al.* (2017) yang menyatakan bahwa peningkatan pada konsentrasi AB Mix juga cenderung menaikkan jumlah daun, terutama pada 1000–1100 ppm dibanding 800 ppm, meski pada indikasinya dapat mendekati titik jenuh. Hasil pada perhitungan ANOVA (Lampiran 2) menegaskan bahwa perlakuan dan konsentrasi berpengaruh signifikan terhadap jumlah daun, sedangkan interaksi konsentrasi dengan jenis media tanam tidak signifikan, hal ini dapat terjadi kemungkinan karena pada kontribusi faktor luar seperti kualitas air dan suhu yang tidak diukur.

Jumlah daun merupakan parameter yang menunjukkan respons nyata terhadap konsentrasi AB Mix dan media tanam. Temuan ini sangat relevan dengan penelitian yang diteliti oleh Gunjal *et al.* (2024) yang menunjukkan bahwa jenis media tanam memengaruhi karakter morfologi tanaman, terutama pembentukan organ vegetatif. Media dengan kemampuan menahan air dan menyediakan aerasi yang lebih baik dapat mendukung pembentukan daun karena akar memperoleh kondisi yang lebih stabil untuk menyerap unsur hara. Oleh karena itu, lebih tingginya jumlah daun pada media cocopeat dalam penelitian ini dapat dikaitkan dengan kemampuan media tersebut dalam mempertahankan kelembapan dan mendukung aktivitas fisiologis tanaman.

Penelitian yang dilakukan pada Fisk *et al.* (2026) pada kale juga relevan karena menggunakan jumlah daun sebagai salah satu indikator respons pertumbuhan tanaman terhadap kondisi budidaya. Dalam konteks penelitian ini, jumlah daun menjadi parameter penting karena daun merupakan bagian utama yang

menentukan nilai konsumsi dan produktivitas kale. Kenaikan jumlah daun pada konsentrasi 1000–1100 ppm menunjukkan bahwa ketersediaan hara, terutama nitrogen, berperan dalam merangsang pertumbuhan vegetatif. Dengan demikian, temuan ini sejalan secara konseptual dengan Fisk *et al.* (2026) bahwa pada jumlah daun disini dapat menjadi indikator sensitif untuk menilai respons pertumbuhan kale terhadap kondisi nutrisi dan lingkungan budidaya.

Jumlah daun yang berpengaruh nyata terhadap konsentrasi AB Mix dapat dikaitkan dengan peran nutrisi dalam mendorong pembentukan organ vegetatif. Hal ini berkaitan dengan Liu *et al.* (2025) menjelaskan bahwa perubahan komposisi larutan nutrisi pada sistem hidroponik dapat memengaruhi pola konsumsi air dan hara, sehingga berdampak pada pertumbuhan *lettuce*. Dalam konteks penelitian ini, peningkatan jumlah daun pada konsentrasi tertentu menunjukkan bahwa tanaman kale merespons ketersediaan nutrisi melalui pembentukan daun sebagai organ utama fotosintesis dan konsumsi.

Hasil ini juga didukung oleh Wang *et al.* (2023) yang melaporkan bahwa perlakuan pada sistem hidroponik mampu meningkatkan karakter agronomis tanaman, termasuk jumlah daun, panjang akar, bobot segar bagian atas, dan bobot segar bagian bawah. Temuan tersebut memperkuat bahwa jumlah daun merupakan indikator vegetatif yang sensitif terhadap perubahan kondisi perakaran dan ketersediaan hara. Oleh karena itu, pengaruh nyata AB Mix dan media tanam terhadap jumlah daun dalam penelitian ini memiliki dasar fisiologis yang kuat.

Jumlah daun pada penelitian ini menunjukkan respons nyata terhadap konsentrasi AB Mix dan media tanam. Temuan ini sejalan dengan penelitian yang

diperoleh dari Dasumiati *et al.* (2024) yang meneliti pertumbuhan dan produksi tanaman kale pada sistem hidroponik DFT (*Drip Film Technique*). Dalam penelitian tersebut, jumlah daun digunakan sebagai salah satu indikator penting pertumbuhan vegetatif karena daun merupakan organ utama fotosintesis sekaligus bagian tanaman yang menentukan produktivitas sayuran daun. Ketersediaan nutrisi yang cukup akan mendukung pembentukan daun melalui peningkatan aktivitas meristem, pembentukan klorofil, dan proses fotosintesis. Oleh sebab itu, pengaruh nyata konsentrasi AB Mix terhadap jumlah daun dalam penelitian ini dapat dijelaskan karena unsur hara dalam larutan nutrisi berperan langsung dalam pembentukan organ vegetatif tanaman sayuran kale.

Penelitian yang dilakukan Candra *et al.* (2020) juga mendukung hasil penelitian ini karena menunjukkan bahwa pertumbuhan tanaman kale pada sistem hidroponik dipengaruhi oleh debit aliran nutrisi dan jenis media tanam. Media tanam berperan dalam mendukung lingkungan perakaran, terutama melalui kemampuan menahan air, menyediakan aerasi, dan menjaga ketersediaan larutan nutrisi di sekitar akar. Dalam penelitian ini, jenis media tanam pada karakter cocopeat menghasilkan jumlah daun yang lebih tinggi dibandingkan arang sekam, sehingga dapat dikaitkan dengan kemampuan terhadap karakter yang dimiliki jenis media tanam cocopeat dalam mempertahankan kelembapan dan menciptakan kondisi akar yang lebih stabil. Dengan demikian, pengaruh nyata media tanam terhadap jumlah daun menunjukkan bahwa pembentukan daun tidak hanya dipengaruhi oleh konsentrasi AB Mix, tetapi juga oleh sifat fisik media tanam yang mendukung serapan hara.

4.5. Panjang Akar

Berdasarkan hasil analisis ragam (ANOVA) (Lampiran 3) menunjukkan bahwa perlakuan, konsentrasi AB Mix, dan media tanam berpengaruh signifikan terhadap panjang akar tanaman kale. Hasil pengamatan yang terdapat pada panjang akar disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Panjang Akar Perlakuan Komposisi Media Tanam dan Konsentrasi AB Mix.

Media Tanam	Konsentrasi AB Mix				Rerata
	800	900	1000	1100	
	(cm)				
Cocopeat	8,00 ^b	6,00 ^d	9,00 ^a	6,33 ^{cd}	7,33
Arang Sekam	7,08 ^c	6,88 ^c	6,67 ^{cd}	6,33 ^{cd}	6,74
Rata Total	7,54 ^a	6,44 ^b	7,83 ^a	6,33 ^b	

* Superskrip berbeda pada kolom dan baris yang sama menunjukkan perbedaan nyata ($P < 0,05$)

Berdasarkan Tabel 4 rata-rata panjang akar pada cocopeat cenderung lebih tinggi dibanding arang sekam di setiap konsentrasi AB Mix, yang secara agronomis dapat dikaitkan dengan kemampuan cocopeat menahan kelembapan dan menyediakan ruang tumbuh akar lebih stabil, sementara arang sekam yang lebih berpori relatif kurang mempertahankan air sehingga akar cenderung lebih pendek. Hal ini sesuai dengan Muslimah *et al.* (2020) yang menyatakan bahwa selain itu, konsentrasi AB Mix 900–1100 ppm umumnya menghasilkan panjang akar lebih baik daripada 800 ppm karena ketersediaan hara lebih optimal. Hasil ANOVA (Lampiran 3) menunjukkan bahwa perlakuan dan konsentrasi berpengaruh signifikan terhadap panjang akar dan interaksi konsentrasi dan media juga signifikan, namun pengaruh media secara mandiri tidak signifikan, sehingga variasi

pada parameter panjang akar lebih kuat dijelaskan oleh konsentrasi nutrisi dan kombinasi perlakuan dibandingkan perbedaan media saja.

Panjang akar dalam penelitian ini dipengaruhi nyata oleh konsentrasi AB Mix dan interaksi antara konsentrasi nutrisi dengan media tanam. Relevansi temuan ini dapat dikaitkan dengan penelitian Alizaeh *et al.* (2025) yang menunjukkan bahwa sistem budidaya hidroponik dan aquaponik memengaruhi perkembangan akar karena akar berinteraksi langsung dengan larutan nutrisi. Dalam hidroponik, akar tidak hanya berfungsi menyerap air dan unsur hara, tetapi juga merespons konsentrasi larutan, ketersediaan oksigen, dan karakter media. Oleh karena itu, adanya pengaruh nyata pada panjang akar dalam penelitian ini menunjukkan bahwa sistem perakaran kale cukup sensitif terhadap variasi nutrisi dan kondisi media.

Penelitian yang dilakukan oleh Vahl *et al.* (2026) juga relevan karena menekankan bahwa subsistem hidroponik dapat menghasilkan perbedaan pertumbuhan akar, termasuk panjang akar dan biomassa tanaman. Hal ini mendukung interpretasi bahwa panjang akar tidak dapat dijelaskan hanya oleh faktor nutrisi atau media secara terpisah, tetapi oleh interaksi keduanya. Dalam penelitian ini, interaksi nyata antara konsentrasi AB Mix dan media tanam menunjukkan bahwa respons akar kale bergantung pada kemampuan media dalam mempertahankan larutan nutrisi di sekitar zona perakaran. Panjang akar merupakan parameter yang tepat untuk menunjukkan hasil efektivitas kombinasi antara konsentrasi nutrisi dan media tanam pada pertumbuhan sayuran penelitian ini.

Panjang akar yang menunjukkan pengaruh nyata pada perlakuan konsentrasi AB Mix dan interaksi konsentrasi dengan media tanam dapat dijelaskan

melalui hubungan langsung antara akar dan larutan nutrisi. Penelitian yang dilakukan oleh Baiyin *et al.* (2025) menegaskan bahwa aliran larutan nutrisi memengaruhi pertumbuhan dan morfologi akar *lettuce* hidroponik, sehingga pengaturan kondisi zona akar menjadi faktor penting untuk meningkatkan hasil dan kualitas tanaman. Hal ini mendukung hasil penelitian ini, karena akar kale merespons kombinasi konsentrasi nutrisi dan karakter media yang menentukan ketersediaan air, oksigen, dan hara di sekitar akar. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Lei and Engeseth (2021) juga menemukan bahwa *lettuce* hidroponik memiliki akar yang lebih kuat dan lebih panjang. Oleh karena itu, pengaruh nyata pada panjang akar dapat dipahami sebagai respon awal tanaman terhadap kondisi media dan konsentrasi nutrisi yang dapat langsung bersentuhan dengan sistem perakaran pada tanaman sayuran ini.

Panjang akar pada penelitian ini menunjukkan pengaruh nyata terhadap konsentrasi AB Mix dan interaksi antara konsentrasi AB Mix dengan media tanam. Hasil ini dapat diperkuat oleh penelitian Suryantini *et al.* (2023) yang membahas respon beberapa jenis sayuran daun, termasuk kale, terhadap perbedaan konsentrasi nutrisi pada sistem hidroponik DFT (*Drip Film Technique*). Pada sistem hidroponik, akar menjadi organ yang paling langsung berhubungan dengan larutan nutrisi, sehingga perubahan konsentrasi hara dapat segera memengaruhi pemanjangan akar. Akar akan berkembang lebih baik apabila nutrisi, air, dan oksigen tersedia dalam kondisi seimbang. Oleh karena itu, pengaruh nyata konsentrasi AB Mix terhadap panjang akar dalam penelitian ini menunjukkan bahwa sistem perakaran kale cukup sensitif terhadap perubahan ketersediaan hara.

Penelitian yang dilakukan oleh Dewanti *et al.* (2019) juga relevan untuk memperkuat pembahasan panjang akar karena mengkaji pertumbuhan dan produksi kale pada perlakuan pupuk kascing dan jarak tanam. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa kondisi media tumbuh dan ketersediaan hara dapat memengaruhi perkembangan akar. Akar yang lebih panjang menunjukkan kemampuan tanaman dalam mengeksplorasi media dan menyerap air serta unsur hara secara lebih efektif. Dalam penelitian ini, adanya interaksi nyata antara konsentrasi AB Mix dan media tanam terhadap panjang akar menunjukkan bahwa respons akar tidak hanya ditentukan oleh jumlah nutrisi, tetapi juga oleh kemampuan media dalam menjaga kondisi zona perakaran.

4.6. Bobot Akar Tanaman

Berdasarkan hasil analisis ragam (ANOVA) (Lampiran 4) dapat disimpulkan bahwa perlakuan, konsentrasi AB Mix, dan interaksi antara konsentrasi AB Mix dan media tanam berpengaruh signifikan terhadap bobot akar tanaman kale. Hasil pengamatan bobot akar disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Bobot Akar Perlakuan Komposisi Media Tanam dan Konsentrasi AB Mix.

Media Tanam	Konsentrasi AB Mix				Rerata
	800	900	1000	1100	
	(gram)				
Cocopeat	1,63 ^b	1,95 ^b	2,47 ^a	1,17 ^{cd}	1,80 ^a
Arang Sekam	1,18 ^c	0,82 ^d	1,08 ^{cd}	1,13 ^{cd}	1,05 ^b
Rata Total	1,41	1,38	1,78	1,15	

* Superskrip berbeda pada baris yang sama menunjukkan perbedaan nyata ($P < 0,05$)

Berdasarkan Tabel 5 rata-rata bobot akar pada cocopeat cenderung lebih tinggi daripada arang sekam pada setiap konsentrasi AB Mix, yang dapat dikaitkan

dengan kemampuan cocopeat mempertahankan kelembapan dan menyediakan ruang tumbuh akar lebih baik, sedangkan arang sekam berdaya simpan air lebih rendah sehingga bobot akar relatif lebih kecil. Peningkatan konsentrasi AB Mix memang diikuti kenaikan bobot akar, tetapi cenderung tidak besar pada konsentrasi tinggi, mengindikasikan adanya titik pemanfaatan hara yang kurang efisien atau dipengaruhi faktor lain di luar perlakuan. Hasil ANOVA (Lampiran 4) menegaskan bahwa perlakuan dan interaksi konsentrasi dan jenis media tanam berpengaruh signifikan terhadap bobot akar, sedangkan konsentrasi AB Mix secara tunggal tidak signifikan sehingga parameter pada bobot akar lebih ditentukan oleh jenis perlakuan dan kombinasi media tanam dengan nutrisi dibanding peningkatan konsentrasi semata menurut penelitian yang dilakukan oleh Marfirani *et al.* (2014).

Bobot akar tanaman menunjukkan pengaruh nyata pada faktor media tanam dan interaksi konsentrasi AB Mix dengan media tanam. Temuan ini relevan dengan penelitian yang dilakukan oleh Yang *et al.* (2024), yang menunjukkan bahwa desain sistem hidroponik dan kondisi lingkungan perakaran dapat memengaruhi pertumbuhan akar serta serapan nutrisi tanaman. Parameter yang dimiliki pada bobot akar tidak hanya ditentukan oleh jumlah nutrisi yang tersedia, tetapi juga oleh kemampuan akar untuk berkembang dalam media yang memiliki kelembapan, aerasi, dan stabilitas fisik yang sesuai. Oleh karena itu, lebih tingginya bobot akar pada media cocopeat dapat dikaitkan dengan sifat media yang mampu mempertahankan air dan mendukung pembentukan massa akar.

Penelitian yang dilakukan oleh Fisk *et al.* (2026) juga mendukung relevansi temuan ini karena pada tanaman kale, bobot akar menjadi salah satu indikator

penting dalam menilai respons tanaman terhadap kondisi budidaya. Akar yang berkembang baik akan meningkatkan kemampuan tanaman menyerap air dan unsur hara, tetapi peningkatan konsentrasi nutrisi tidak selalu otomatis menaikkan bobot akar apabila media tidak mendukung lingkungan perakaran yang optimal. Dalam penelitian ini, pengaruh interaksi menunjukkan bahwa bobot akar lebih ditentukan oleh kombinasi konsentrasi nutrisi pada AB Mix dan media tanam daripada oleh konsentrasi nutrisi secara tunggal.

Bobot akar yang dipengaruhi nyata oleh media tanam dan interaksi perlakuan menunjukkan bahwa pembentukan massa akar tidak hanya ditentukan oleh jumlah nutrisi, tetapi juga oleh kondisi fisik zona perakaran sesuai dengan penelitian yang dilakukan pada Baiyin *et al.* (2025) menjelaskan bahwa larutan nutrisi dan kondisi aliran dalam sistem hidroponik memengaruhi bobot segar dan bobot kering akar, morfologi akar, serta serapan nitrogen. Dengan demikian, bobot akar kale dalam penelitian ini wajar lebih responsif terhadap kombinasi AB Mix dan media tanam dibandingkan terhadap konsentrasi nutrisi secara tunggal.

Penelitian yang dilakukan oleh Wang *et al.* (2023) yang dilakukan juga menunjukkan bahwa peningkatan karakter agronomis pada tanaman hidroponik tidak hanya terjadi pada bagian atas tanaman, tetapi juga pada bagian bawah tanaman melalui peningkatan bobot segar akar dan panjang akar. Hal ini relevan dengan hasil penelitian ini karena media cocopeat yang lebih mampu mempertahankan kelembapan dapat menciptakan kondisi yang lebih sesuai untuk pembentukan massa akar. Dengan demikian, bobot akar dapat dibahas sebagai parameter yang merekam hubungan antara stabilitas media, serapan hara, dan

perkembangan perakaran.

Bobot akar tanaman pada penelitian ini dipengaruhi nyata oleh media tanam dan interaksi antara konsentrasi AB Mix dengan media tanam. Temuan ini dapat diperkuat oleh penelitian Sembiring dan Widyawati (2023) yang meneliti pertumbuhan, produktivitas, dan kualitas tanaman kale *curly* dengan perlakuan larutan fermentasi daun gamal. Dalam penelitian tersebut, perkembangan akar menjadi bagian penting karena akar berfungsi menyerap air dan unsur hara untuk mendukung pertumbuhan tajuk. Bobot akar yang lebih tinggi menunjukkan bahwa tanaman mampu membentuk massa perakaran yang lebih baik. Oleh sebab itu, hasil penelitian ini yang menunjukkan pengaruh nyata pada bobot akar dapat dijelaskan bahwa kondisi media tanam dan ketersediaan nutrisi berperan penting dalam pembentukan massa akar tanaman kale.

Penelitian yang dilakukan oleh Laki *et al.* (2021) juga mendukung pembahasan bobot akar karena membahas pengaruh pupuk organik terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman kale pada sistem vertikultur. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa pertumbuhan kale dipengaruhi oleh kualitas lingkungan tumbuh, termasuk kemampuan media dan nutrisi dalam mendukung perkembangan organ vegetatif. Pada penelitian ini, bobot akar lebih tinggi pada media cocopeat dibandingkan arang sekam, yang dapat dikaitkan dengan kemampuan cocopeat mempertahankan kelembapan dan menyediakan ruang tumbuh yang lebih stabil bagi akar. Dengan demikian, bobot akar yang berpengaruh nyata terhadap media dan interaksi perlakuan menunjukkan bahwa pembentukan massa akar tidak hanya bergantung pada konsentrasi AB Mix, tetapi juga pada karakter fisik media tanam.

4.7. Bobot Segar Tanaman

Berdasarkan hasil analisis ragam (ANOVA) (Lampiran 5) dapat disimpulkan bahwa perlakuan, konsentrasi AB Mix, dan interaksi antara keduanya tidak berpengaruh signifikan terhadap bobot segar tanaman kale. Hasil pengamatan bobot segar tanaman disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Bobot Segar Tanaman Perlakuan Komposisi Media Tanam dan Konsentrasi AB Mix.

Media Tanam	Konsentrasi AB Mix				Rerata
	800	900	1000	1100	
	----- (gram)-----				
Cocopeat	21,65	23,48	19,72	23,73	22,15
Arang Sekam	14,88	15,78	21,85	20,27	18,20
Rata Total	18,27	19,63	20,78	22,00	

* Superskrip berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan nyata ($P < 0,05$)

Berdasarkan Tabel 6 rata-rata bobot segar tanaman sayuran kale pada media cocopeat cenderung lebih tinggi daripada arang sekam pada setiap konsentrasi AB Mix, yang secara fisiologis dapat dikaitkan dengan kemampuan cocopeat mempertahankan kelembapan, menyediakan oksigen bagi akar, dan menciptakan kondisi tumbuh lebih stabil, sedangkan arang sekam relatif lebih cepat kehilangan kelembapan sehingga pada beberapa titik dapat membatasi pertumbuhan. Bobot segar terlihat meningkat seiring kenaikan konsentrasi AB Mix dari 800 hingga 1100 ppm, hasil ANOVA (Lampiran 6) menunjukkan pengaruh perlakuan, konsentrasi, dan interaksi keduanya tidak signifikan karena seluruh F-hitung lebih kecil dari F-tabel, sehingga variasi bobot segar pada percobaan ini kemungkinan lebih dipengaruhi faktor lain di luar perlakuan yang diuji.

Bobot segar tanaman tidak menunjukkan pengaruh nyata terhadap

perlakuan, meskipun secara numerik terdapat kecenderungan peningkatan pada beberapa konsentrasi AB Mix. Temuan ini sangat relevan dan berkaitan dengan penelitian yang dilakukan oleh Martínez-Moreno *et al.* (2024), yang menunjukkan bahwa manajemen larutan nutrisi dapat memengaruhi hasil dan kualitas tanaman lettuce dalam sistem hidroponik. Namun, respons bobot segar sangat bergantung pada keseimbangan nutrisi, bukan hanya pada peningkatan konsentrasi. Dengan demikian, tidak nyatanya bobot segar dalam penelitian ini dapat dijelaskan bahwa peningkatan konsentrasi AB Mix belum cukup kuat menghasilkan akumulasi biomassa yang berbeda secara statistik.

Penelitian yang dilakukan oleh Rocha *et al.* (2025) juga relevan karena menunjukkan bahwa sistem budidaya hidroponik dapat meningkatkan bobot segar tanaman melalui efisiensi pemanfaatan air dan nutrisi. Namun, peningkatan bobot segar tetap dipengaruhi oleh stabilitas lingkungan budidaya, karakter tanaman, dan kemampuan sistem akar dalam menyerap nutrisi. Dalam penelitian ini, bobot segar tanaman kale yang tidak berbeda nyata menunjukkan bahwa variasi konsentrasi AB Mix dan media tanam belum menghasilkan perbedaan produksi biomassa yang cukup besar. Oleh sebab itu, parameter bobot segar dapat dibahas sebagai parameter hasil yang lebih kompleks karena dipengaruhi oleh akumulasi pertumbuhan daun, batang, akar, serta kondisi fisiologis tanaman secara keseluruhan.

Bobot segar tanaman sayuran kale yang tidak berpengaruh nyata dapat dijelaskan karena akumulasi biomassa segar merupakan hasil gabungan dari banyak proses, seperti pembentukan daun, batang, akar, kandungan air, dan efisiensi serapan hara. Penelitian yang dilakukan oleh Vought *et al.* (2024) menemukan

bahwa perbedaan tingkat EC dalam sistem NFT (*Nutrien Film Technique*) lettuce tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap biomassa segar dan kering, meskipun terjadi dinamika unsur hara di dalam larutan. Temuan ini mendukung hasil penelitian ini, bahwa peningkatan konsentrasi AB Mix belum tentu langsung menghasilkan peningkatan bobot segar yang berbeda nyata.

Penelitian yang dilakukan oleh Giannothanasis *et al.* (2025) yang juga menunjukkan bahwa pengurangan input nutrisi pada hidroponik lettuce dapat dilakukan tanpa menurunkan hasil, selama keseimbangan nutrisi masih memenuhi kebutuhan tanaman. Hal ini menguatkan interpretasi bahwa bobot segar tidak hanya bergantung pada tingginya konsentrasi nutrisi, tetapi pada kecukupan dan keseimbangan hara. Dengan demikian, tidak nyatanya bobot segar kale dalam penelitian ini dapat dijelaskan karena semua perlakuan masih mampu menyediakan kondisi tumbuh yang relatif mendukung pembentukan biomassa segar.

Bobot segar tanaman dalam penelitian ini tidak menunjukkan pengaruh nyata terhadap konsentrasi AB Mix, media tanam, maupun interaksinya. Hasil ini dapat diperkuat oleh penelitian Tristinandi *et al.* (2024) yang meneliti respons pertumbuhan dan hasil *curly* kale akibat perbedaan konsentrasi nutrisi dan pupuk daun pada sistem hidroponik rakit apung. Bobot segar merupakan parameter hasil yang menggambarkan akumulasi biomassa tanaman secara keseluruhan, termasuk daun, batang, dan kandungan air jaringan. Namun, peningkatan konsentrasi nutrisi tidak selalu menghasilkan peningkatan bobot segar yang nyata apabila tanaman telah memperoleh nutrisi dalam jumlah cukup.

Penelitian yang dilakukan Wulansari *et al.* (2019) juga relevan karena

membahas pengaruh tingkat EC dan populasi terhadap produksi tanaman kale pada sistem hidroponik rakit apung. EC berkaitan erat dengan konsentrasi larutan nutrisi, sehingga perubahan EC dapat memengaruhi ketersediaan unsur hara bagi tanaman. Namun, bobot segar sebagai parameter hasil sangat dipengaruhi oleh banyak faktor, seperti luas daun, jumlah daun, serapan air, intensitas cahaya, suhu, dan kondisi akar. Dalam penelitian ini, meskipun terdapat kecenderungan peningkatan bobot segar pada beberapa konsentrasi AB Mix, perbedaan tersebut belum signifikan.

4.8. Bobot Konsumsi Tanaman

Berdasarkan hasil analisis ragam (ANOVA) (Lampiran 6) menunjukkan perlakuan, konsentrasi AB Mix, dan interaksi antara keduanya tidak berpengaruh signifikan terhadap bobot konsumsi tanaman kale. Hasil pengamatan bobot konsumsi tanaman disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Bobot konsumsi tanaman Perlakuan Komposisi Media Tanam dan Konsentrasi AB Mix.

Media Tanam	Konsentrasi AB Mix				Rerata
	800	900	1000	1100	
	----- (gram)-----				
Cocopeat	20,02	21,55	17,25	22,57	20,35
Arang Sekam	13,70	14,97	20,97	19,13	17,19
Rata Total	16,86	18,26	19,11	20,85	

* Superskrip berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan nyata ($P < 0,05$)

Berdasarkan Tabel 7 rata-rata bobot konsumsi tanaman sayuran kale pada media cocopeat cenderung lebih tinggi daripada arang sekam di setiap konsentrasi AB Mix, yang kemungkinan terkait kemampuan cocopeat menahan kelembapan

dan tetap menyediakan oksigen bagi akar sehingga pembentukan biomassa konsumsi lebih optimal, sedangkan arang sekam ber-retensi air lebih rendah sehingga pertumbuhan relatif lebih terbatas. Bobot konsumsi memang tampak meningkat seiring kenaikan konsentrasi AB Mix dari 800 hingga 1100 ppm, tetapi hasil ANOVA (Lampiran 6) menunjukkan pengaruh perlakuan, konsentrasi, dan interaksinya tidak signifikan sehingga variasi bobot konsumsi pada penelitian ini kemungkinan lebih dipengaruhi faktor lain seperti ketidakseimbangan unsur hara, kondisi lingkungan, atau keterbatasan penyerapan nutrisi oleh tanaman.

Bobot konsumsi tanaman tidak menunjukkan pengaruh nyata terhadap perlakuan, tetapi cenderung mengikuti pola bobot segar. Relevansi temuan ini dapat dikaitkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Alneyadi *et al.* (2024), yang menunjukkan bahwa larutan nutrisi dalam sistem *soilless culture* dapat memengaruhi biomassa segar tanaman, tetapi efeknya bergantung pada keseimbangan komposisi hara. Bobot konsumsi merupakan bagian tanaman yang bernilai panen, sehingga responsnya sangat dipengaruhi oleh pembentukan daun dan batang. Tidak nyatanya pengaruh perlakuan dalam penelitian ini menunjukkan bahwa variasi nutrisi dan media belum cukup kuat meningkatkan bagian tanaman yang dapat dikonsumsi secara signifikan.

Penelitian yang dilakukan oleh Alkaabi *et al.* (2025) juga relevan karena membahas hasil tanaman dalam sistem hidroponik vertikal dengan memperhatikan pengaruh sumber nutrisi terhadap pertumbuhan dan kualitas tanaman. Kajian tersebut memperlihatkan bahwa hasil konsumsi tanaman tidak hanya ditentukan oleh kuantitas nutrisi, tetapi juga oleh kualitas nutrisi dan kemampuan tanaman

mengonversi hara menjadi biomassa panen. Bobot konsumsi yang tidak berbeda nyata dapat dijelaskan bahwa peningkatan konsentrasi AB Mix belum sepenuhnya meningkatkan efisiensi pembentukan biomassa konsumsi. Dengan demikian, bobot konsumsi perlu dipahami sebagai hasil akhir dari interaksi antara pertumbuhan vegetatif, efisiensi serapan hara, dan kondisi lingkungan perakaran.

Bobot konsumsi tanaman yang tidak menunjukkan pengaruh nyata dapat dipahami karena parameter ini sangat dekat dengan bobot segar tajuk dan bagian tanaman yang layak panen. Hal ini sesuai dengan pendapat Weston *et al.* (2023) yang menunjukkan bahwa bentuk nitrogen tertentu dapat menghasilkan fenotipe lettuce dengan hasil lebih tinggi, tetapi respons tersebut bergantung pada bentuk hara dan kemampuan tanaman mengubah hara menjadi biomassa daun. Dalam penelitian ini, peningkatan pada konsentrasi yang terkandung AB Mix belum tentu meningkatkan bobot konsumsi secara nyata apabila komposisi hara dan kondisi media belum mendorong konversi biomassa secara optimal.

Penelitian yang dilakukan oleh Razzak *et al.* (2022) menjelaskan bahwa sistem hidroponik daur ulang dapat mengalami hambatan pertumbuhan akibat perubahan kondisi larutan nutrisi dan akumulasi senyawa tertentu. Meskipun penelitian ini tidak meneliti *autotoxicity*, kajian tersebut tetap relevan untuk menunjukkan bahwa bobot panen pada sayuran daun tidak hanya ditentukan oleh ketersediaan nutrisi, tetapi juga oleh kualitas larutan dan kestabilan lingkungan tumbuh. Oleh karena itu, bobot konsumsi tanaman sayuran kale yang tidak berbeda nyata dapat dibahas sebagai hasil akhir dari interaksi kompleks antara pertumbuhan daun, kondisi akar, dan efisiensi pemanfaatan nutrisi.

Bobot konsumsi tanaman pada penelitian ini tidak menunjukkan pengaruh nyata terhadap perlakuan, meskipun secara numerik cenderung mengikuti pola bobot segar tanaman. Temuan ini dapat diperkuat oleh penelitian yang dilakukan oleh Rehatta *et al.* (2023) yang meneliti pengaruh konsentrasi AB Mix dan media tanam terhadap pertumbuhan dan hasil sawi hijau pada sistem hidroponik substrat. Meskipun objek tanaman berbeda, sawi hijau dan kale sama-sama termasuk sayuran daun yang bagian konsumsi utamanya berupa daun dan batang muda. Bobot konsumsi sangat dipengaruhi oleh keberhasilan tanaman membentuk biomassa panen. Oleh karena itu, tidak nyatanya bobot konsumsi dalam penelitian ini dapat dijelaskan bahwa variasi konsentrasi AB Mix dan media tanam belum cukup kuat meningkatkan bagian tanaman yang layak dikonsumsi secara signifikan.

Penelitian yang dilakukan oleh peneliti Kasturi *et al.* (2022) juga mendukung pada pembahasan ini karena mengkaji pertumbuhan dan hasil tanaman pakcoy pada berbagai kombinasi konsentrasi AB Mix dan pupuk organik cair dalam sistem hidroponik. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa hasil konsumsi tanaman sangat bergantung pada keseimbangan konsentrasi nutrisi dan kemampuan tanaman mengonversi hara menjadi biomassa daun. Dalam penelitian ini, bobot konsumsi kale tidak berbeda nyata karena semua perlakuan kemungkinan masih berada dalam kisaran yang mampu mendukung pembentukan biomassa konsumsi secara relatif seragam. Dengan demikian, bobot konsumsi perlu dipahami sebagai hasil akhir dari proses pertumbuhan vegetatif, efisiensi serapan hara, dan fisiologis tanaman.

4.9. Data Kadar Karotenoid

Berdasarkan hasil analisis ragam (ANOVA) (Lampiran 7) menunjukkan bahwa perlakuan, konsentrasi AB Mix, dan interaksi antara keduanya tidak berpengaruh signifikan terhadap kadar karotenoid tanaman kale. Hasil pengamatan data kadar karotenoid pada Tabel 8.

Tabel 8. Data kadar karotenoid Perlakuan Komposisi Media Tanam dan Konsentrasi AB Mix.

Media Tanam	Konsentrasi AB Mix				Rerata
	800	900	1000	1100	
	----- (mg/g)-----				
Cocopeat	28,25	22,10	17,45	27,29	23,77
Arang Sekam	28,06	22,27	24,74	22,84	24,48
Rata Total	28,16	22,18	21,10	25,06	

* Superskrip berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan nyata ($P < 0,05$)

Berdasarkan Tabel 8 kadar karotenoid pada media cocopeat cenderung sedikit lebih tinggi dibanding arang sekam di setiap konsentrasi AB Mix, tetapi perbedaannya tidak signifikan secara statistik, kadar karotenoid juga tampak menurun pada konsentrasi lebih tinggi (1000–1100 ppm) Hal ini sesuai dengan pendapat yang dinyatakan oleh Jihadiyah (2018) yang menyatakan bahwa namun perubahan ini tidak terbukti dipengaruhi langsung oleh peningkatan AB Mix dan kemungkinan dipengaruhi faktor lain seperti kondisi lingkungan atau karakteristik fisiologis tanaman. Hal ini diperkuat oleh hasil ANOVA (Lampiran 7) yang menunjukkan perlakuan, konsentrasi, dan interaksinya tidak, sehingga pada variasi kandungan pada karotenoid yang muncul bersifat numerik tetapi belum cukup kuat untuk dinyatakan sebagai efek perlakuan.

Kadar karotenoid tidak menunjukkan pengaruh nyata terhadap konsentrasi AB Mix, media tanam, maupun interaksinya. Temuan ini relevan dengan penelitian

dari oleh yang dilakukan Ashenafi *et al.* (2022) yang menunjukkan bahwa kandungan karotenoid pada kale dipengaruhi oleh kultivar, sistem budidaya, dan tahap perkembangan tanaman. Artinya, karotenoid tidak selalu meningkat hanya karena perubahan konsentrasi nutrisi, sebab akumulasi pigmen juga berkaitan dengan respons fisiologis tanaman terhadap lingkungan. Dalam penelitian ini, tidak nyata kadar karotenoid menunjukkan bahwa perlakuan AB Mix dan media tanam belum menghasilkan tekanan fisiologis atau kondisi metabolik yang cukup berbeda untuk mengubah akumulasi karotenoid secara signifikan. Sistem hidroponik dapat memengaruhi konsentrasi fitokimia, termasuk karotenoid, melalui perbedaan desain sistem dan kondisi pertumbuhan. Hal ini mendukung interpretasi bahwa karotenoid lebih sensitif terhadap kondisi fisiologis tanaman dan lingkungan budidaya daripada sekadar peningkatan konsentrasi nutrisi. Dalam penelitian ini, kecenderungan kadar karotenoid yang lebih tinggi pada konsentrasi rendah dapat mengindikasikan bahwa tanaman pada konsentrasi tersebut memiliki respons pigmen yang lebih baik, meskipun belum signifikan secara statistik. Hasil ini perlu dibahas secara hati-hati sebagai kecenderungan fisiologis.

Kadar karotenoid yang tidak berbeda nyata menunjukkan bahwa perubahan konsentrasi AB Mix dan media tanam belum cukup kuat untuk mengubah akumulasi pigmen tersebut. Hal ini sesuai dengan pendapat pada penelitian yang dilakukan oleh Tang *et al.* (2025) melaporkan bahwa melatonin dapat meningkatkan pertumbuhan, klorofil, dan karotenoid pada *chinese kale sprouts*, yang menunjukkan bahwa karotenoid sangat terkait dengan regulasi fisiologis dan respons metabolik tanaman. Dalam konteks penelitian ini, tidak nyata kadar

karotenoid mengindikasikan bahwa perlakuan nutrisi dan media belum menimbulkan perubahan metabolik yang cukup besar pada sayuran kale.

Penelitian yang dilakukan oleh Das *et al.* (2024) juga menunjukkan bahwa intensitas cahaya propagasi dapat memengaruhi hasil, morfologi, dan fitokimia lettuce, termasuk karotenoid, klorofil a, dan klorofil b. Temuan ini penting untuk memperkuat bahwa pigmen tanaman tidak hanya dipengaruhi oleh nutrisi, tetapi juga oleh faktor lingkungan seperti cahaya. Dengan demikian, variasi karotenoid pada penelitian ini sebaiknya dibahas sebagai kecenderungan fisiologis, bukan sebagai efek nyata perlakuan, karena faktor lingkungan lain kemungkinan ikut menentukan akumulasi pigmen.

Kadar karotenoid pada penelitian ini tidak menunjukkan pengaruh nyata terhadap konsentrasi AB Mix, media tanam, maupun interaksi keduanya. Hasil ini dapat diperkuat oleh penelitian Hendriyani *et al.* (2018) yang membahas kandungan klorofil dan karotenoid pada tanaman dengan umur berbeda. Karotenoid merupakan pigmen tambahan yang berperan dalam membantu penyerapan cahaya dan melindungi jaringan fotosintetik dari kerusakan akibat stres oksidatif. Kandungan karotenoid tidak hanya dipengaruhi oleh nutrisi, tetapi juga oleh umur daun, intensitas cahaya, kondisi fisiologis tanaman, dan fase perkembangan jaringan. Oleh karena itu, tidak nyatanya kadar karotenoid dalam penelitian ini menunjukkan bahwa perlakuan AB Mix dan media tanam belum cukup kuat menimbulkan perubahan fisiologis yang nyata pada tanaman kale.

Penelitian yang dilakukan oleh Khafid *et al.* (2021) juga relevan karena menunjukkan bahwa kandungan klorofil dan karotenoid dapat berbeda pada umur

daun yang berbeda. Hal ini menegaskan bahwa pigmen tanaman sangat dipengaruhi oleh kondisi internal jaringan, bukan hanya oleh perlakuan eksternal seperti nutrisi atau media tanam. Dalam penelitian ini, variasi kadar karotenoid yang muncul masih bersifat numerik dan belum signifikan secara statistik. Dengan demikian, hasil tersebut dapat dijelaskan bahwa tanaman kale masih berada dalam kondisi fisiologis yang relatif stabil pada seluruh perlakuan, sehingga akumulasi karotenoid tidak mengalami perubahan nyata. Paparan ini memperkuat bahwa karotenoid lebih tepat dibahas sebagai parameter fisiologis yang dipengaruhi oleh banyak faktor, bukan hanya oleh konsentrasi AB Mix.

4.10. Data Kadar Klorofil a

Berdasarkan hasil analisis ragam (ANOVA) (Lampiran 8) menunjukkan bahwa perlakuan, konsentrasi AB Mix, dan interaksi antara keduanya tidak berpengaruh signifikan terhadap kadar klorofil a tanaman kale. Hasil pengamatan yang terdapat data kadar klorofil a disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Data kadar klorofil a Perlakuan Komposisi Media Tanam dan Konsentrasi AB Mix.

Media Tanam	Konsentrasi AB Mix				Rerata
	800	900	1000	1100	
	(mg/g)-----				
Cocopeat	1,23	0,93	0,75	1,07	0,99
Arang Sekam	1,13	0,96	1,00	0,90	1,00
Rata Total	1,18	0,95	0,87	0,99	

* Superskrip berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan nyata ($P < 0,05$)

Berdasarkan Tabel 9 kadar klorofil a cenderung sedikit menurun pada konsentrasi AB Mix yang lebih tinggi (1000–1100 ppm) dibanding 800–900 ppm, yang dapat mengindikasikan bahwa pada level tertentu kelebihan nutrisi berpotensi

memicu ketidakseimbangan hara sehingga pemanfaatan unsur untuk pembentukan klorofil dan efisiensi fotosintesis tidak lagi optimal. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Hevira *et al.* (2021) yang menyatakan bahwa cocopeat yang tercatat menghasilkan klorofil a sedikit lebih tinggi daripada arang sekam kemungkinan karena retensi kelembapan yang lebih baik sehingga mendukung serapan air dan hara. Hasil ANOVA (Lampiran 8) menunjukkan perlakuan, konsentrasi, dan interaksinya tidak signifikan, sehingga variasi yang muncul belum cukup kuat untuk dinyatakan sebagai pengaruh perlakuan.

Kadar klorofil a tidak menunjukkan pengaruh nyata terhadap perlakuan, meskipun terdapat kecenderungan penurunan pada konsentrasi AB Mix yang lebih tinggi. Temuan ini relevan dengan penelitian Sronsri *et al.* (2022) yang mengukur klorofil a, klorofil b, klorofil total, karotenoid, tinggi tanaman, dan bobot segar pada tanaman hidroponik. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa pigmen fotosintetik dapat dipengaruhi oleh kondisi budidaya, tetapi responsnya sangat bergantung pada keseimbangan fisiologis tanaman. Dalam penelitian ini, tidak nyatanya klorofil a menunjukkan bahwa variasi konsentrasi nutrisi belum cukup besar untuk menyebabkan perubahan signifikan pada kandungan pigmen utama fotosintesis.

Penelitian yang dilakukan oleh Aini *et al.* (2024) juga relevan karena menunjukkan bahwa klorofil a pada tanaman hidroponik berkaitan dengan kondisi fisiologis tanaman dan dukungan mikroba pertumbuhan. Hal ini memperkuat bahwa pembentukan klorofil a tidak hanya dipengaruhi oleh ketersediaan unsur hara, tetapi juga oleh kemampuan tanaman menyerap dan memanfaatkan hara tersebut. Dalam penelitian ini, kecenderungan penurunan klorofil a pada

konsentrasi lebih tinggi dapat dijelaskan sebagai kemungkinan adanya ketidakseimbangan hara atau stres osmotik ringan. Namun, karena hasilnya tidak signifikan, interpretasi yang tepat adalah bahwa perlakuan belum terbukti memengaruhi klorofil a secara nyata.

Kadar klorofil a yang tidak berpengaruh nyata menunjukkan bahwa tanaman kale masih mampu mempertahankan pigmen utama fotosintesis pada rentang perlakuan yang diuji. Hal ini sesuai dengan pendapat Dass *et al.* (2021) mengukur klorofil a, klorofil b, dan karotenoid pada lettuce hidroponik, serta menunjukkan bahwa perubahan perlakuan dapat memengaruhi profil fitokimia dan sifat fisik tanaman. Hal ini mendukung pembahasan bahwa klorofil a merupakan parameter fisiologis yang dapat berubah, tetapi perubahan tersebut membutuhkan kondisi perlakuan yang cukup kuat untuk menghasilkan perbedaan statistik.

Penelitian yang dilakukan oleh Das *et al.* (2024) memperkuat hal tersebut dengan menunjukkan bahwa klorofil a dapat dipengaruhi oleh intensitas cahaya pada fase propagasi. Artinya, klorofil a tidak hanya merespons nutrisi, tetapi juga kondisi lingkungan yang mengatur aktivitas fotosintesis. Dalam penelitian ini, tidak nyatanya klorofil a dapat dijelaskan karena perlakuan AB Mix dan media tanam belum memberikan tekanan atau rangsangan fisiologis yang cukup untuk mengubah pembentukan klorofil a secara nyata.

Kadar klorofil a dalam penelitian ini tidak menunjukkan pengaruh nyata terhadap konsentrasi AB Mix, media tanam, maupun interaksinya. Temuan ini dapat diperkuat oleh penelitian Yama dan Kartiko (2020) yang membahas pertumbuhan dan kandungan klorofil pakcoy pada beberapa konsentrasi AB Mix

dengan sistem hidroponik. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa nutrisi AB Mix dapat mendukung pembentukan klorofil karena menyediakan unsur penting seperti nitrogen dan magnesium yang berperan dalam struktur molekul klorofil. Namun, peningkatan konsentrasi AB Mix tidak selalu menyebabkan kenaikan klorofil secara nyata apabila tanaman telah memperoleh hara dalam jumlah cukup. Dengan demikian, hasil penelitian ini dapat dijelaskan bahwa kadar klorofil a tanaman kale relatif stabil pada rentang konsentrasi AB Mix yang diuji.

Penelitian yang dilakukan dalam Agritrop (2023) tentang karakteristik fisiologis tanaman terhadap konsentrasi AB Mix juga memperkuat pembahasan kadar klorofil a. Klorofil a merupakan pigmen utama fotosintesis yang berperan langsung dalam menangkap energi cahaya untuk proses fotosintesis. Namun, pembentukan klorofil a tidak hanya ditentukan oleh ketersediaan nutrisi, tetapi juga oleh faktor pada cahaya, suhu, air, dan kemampuan akar menyerap unsur hara. Dalam penelitian ini, kecenderungan penurunan klorofil a pada konsentrasi tertentu belum dapat disimpulkan sebagai pengaruh perlakuan karena hasil analisis ragam tidak signifikan. Oleh karena itu, faktor klorofil a yang terdapat dalam penelitian ini lebih tepat dibahas sebagai parameter fisiologis yang relatif stabil pada berbagai kombinasi AB Mix dan media tanam.

4.11. Data Kadar Klorofil b

Berdasarkan hasil analisis ragam (ANOVA) (Lampiran 9) menunjukkan bahwa perlakuan, konsentrasi AB Mix, media tanam, dan interaksi antara konsentrasi AB Mix dan media tanam tidak berpengaruh signifikan terhadap kadar

klorofil b tanaman kale. Hasil pengamatan yang tertera pada data kadar klorofil b dapat disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10. Data kadar klorofil b Perlakuan Komposisi Media Tanam dan Konsentrasi AB Mix.

Media Tanam	Konsentrasi AB Mix				Rerata
	800	900	1000	1100	
	(mg/g)-----				
Cocopeat	0,63	0,46	0,36	0,55	0,50
Arang Sekam	0,59	0,48	0,50	0,45	0,51
Rata Total	0,61	0,47	0,43	0,50	

* Superskrip berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan nyata ($P < 0,05$)

Berdasarkan Tabel 10. kadar klorofil b menunjukkan kecenderungan sedikit menurun seiring peningkatan konsentrasi AB Mix, terutama pada 1000–1100 ppm, tetapi perbedaannya tidak signifikan sehingga mengindikasikan bahwa kenaikan konsentrasi nutrisi tidak secara langsung meningkatkan klorofil b dan bahkan mungkin berkaitan dengan kelebihan atau ketidakseimbangan hara yang menghambat pembentukan pigmen. Hal ini sesuai Fadhilah dan Aini (2019) yang menyatakan bahwa perbedaan klorofil b antara cocopeat dan arang sekam juga tidak signifikan, meski cocopeat kadang sedikit lebih tinggi, sehingga variasi yang muncul kemungkinan dipengaruhi kombinasi faktor media, nutrisi, dan lingkungan yang tidak terukur. Hal ini diperkuat oleh hasil ANOVA (Lampiran 9) yang menunjukkan seluruh faktor (perlakuan, konsentrasi, media, dan interaksi) memiliki F-hitung lebih kecil dari F-tabel, sehingga tidak ada pengaruh nyata terhadap kadar klorofil b pada tanaman kale.

Kadar klorofil b tidak menunjukkan pengaruh nyata terhadap perlakuan. Temuan ini relevan dengan penelitian Sronsri *et al.* (2022), yang menunjukkan bahwa klorofil b merupakan pigmen pendukung fotosintesis yang dapat berubah sesuai kondisi budidaya, tetapi responsnya tidak selalu sejalan dengan pertumbuhan

biomassa. Klorofil b berperan dalam menangkap cahaya dan membantu transfer energi ke klorofil a, sehingga kandungannya lebih berkaitan dengan adaptasi fisiologis tanaman terhadap lingkungan cahaya dan nutrisi. Dalam penelitian ini yang tidak nyatanya kadar klorofil b menunjukkan bahwa perbedaan konsentrasi AB Mix dan media tanam belum memberikan perubahan nyata terhadap sistem penangkapan cahaya yang terdapat pada tanaman kale.

Penelitian yang dilakukan oleh Alizaeh *et al.* (2025) juga relevan karena menunjukkan bahwa kandungan klorofil a dan b dapat berbeda antar sistem budidaya, tetapi tidak selalu berkorelasi langsung dengan pertumbuhan akar atau hasil biomassa. Hal ini penting untuk menjelaskan bahwa tanaman yang memiliki pertumbuhan vegetatif lebih baik belum tentu memiliki kadar klorofil b yang lebih tinggi. Dalam penelitian ini, kadar klorofil b yang cenderung menurun pada konsentrasi lebih tinggi dapat dikaitkan dengan kemungkinan terjadinya ketidakseimbangan fisiologis, tetapi tidak dapat disimpulkan sebagai pengaruh nyata. Dengan demikian, pada pembahasan klorofil b sebaiknya ditekankan pada stabilitas pigmen fotosintetik dalam rentang konsentrasi nutrisi yang diuji.

Kadar klorofil b yang tidak menunjukkan perbedaan nyata dapat dipahami karena pigmen ini berperan sebagai pigmen pendukung fotosintesis yang sangat terkait dengan adaptasi tanaman terhadap cahaya dan kondisi fisiologis. Penelitian yang dilakukan oleh Xu *et al.* (2025) menunjukkan bahwa rasio bentuk nitrogen dalam sistem hidroponik dapat memengaruhi pertumbuhan, serapan nutrisi, klorofil a, klorofil b, dan karotenoid pada lettuce. Temuan ini menunjukkan bahwa klorofil b dapat merespons perubahan nutrisi, tetapi responsnya bergantung pada komposisi

hara, bukan semata pada kenaikan konsentrasi larutan.

Penelitian yang dilakukan oleh Dass *et al.* (2021) juga relevan karena penelitian tersebut mengukur klorofil b sebagai bagian dari evaluasi pigmen fotosintetik pada *lettuce* hidroponik. Jika dikaitkan dengan hasil penelitian ini, kadar klorofil b yang tidak berbeda nyata menunjukkan bahwa sistem penangkapan cahaya pada tanaman kale relatif stabil pada perlakuan AB Mix dan media yang diuji. Oleh karena itu, pembahasan klorofil b perlu menekankan stabilitas fisiologis tanaman, bukan hanya kecenderungan naik atau turun secara numerik.

Kadar klorofil b pada penelitian ini tidak menunjukkan pengaruh nyata terhadap perlakuan konsentrasi AB Mix, media tanam, maupun interaksinya. Temuan ini dapat diperkuat oleh penelitian Syifani *et al.* (2025) yang membahas kombinasi AB Mix dan pupuk organik cair terhadap stomata dan klorofil tanaman pada sistem hidroponik wick. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa klorofil b dapat dipengaruhi oleh kondisi nutrisi, tetapi responsnya bergantung pada keseimbangan hara dan kondisi fisiologis tanaman. Klorofil b berfungsi sebagai pigmen pendukung yang membantu menangkap cahaya dan menyalurkan energi ke klorofil a. Dengan demikian, tidak nyatanya klorofil b pada penelitian ini menunjukkan bahwa perlakuan AB Mix dan media tanam belum mengubah sistem penangkapan cahaya tanaman kale secara signifikan.

Penelitian yang dilakukan oleh Albar *et al.* (2023) juga mendukung pembahasan kadar klorofil b karena mengkaji kandungan klorofil a, klorofil b, total klorofil, dan karotenoid pada tanaman. Hasil penelitian tersebut menegaskan bahwa kandungan pigmen fotosintetik dapat dipengaruhi oleh kondisi fisiologis jaringan

dan lingkungan tumbuh. Dalam penelitian ini, kadar klorofil b cenderung bervariasi antarperlakuan, tetapi variasi tersebut tidak signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa tanaman kale masih mampu mempertahankan stabilitas pigmen pendukung fotosintesis pada berbagai perlakuan AB Mix dan media tanam. Oleh karena itu, klorofil b dapat dibahas sebagai indikator stabilitas fisiologis tanaman, bukan sebagai parameter yang langsung meningkat akibat kenaikan konsentrasi nutrisi.

4.12. Data Kadar Klorofil Total

Berdasarkan hasil analisis ragam (ANOVA) (Lampiran 10) menunjukkan bahwa perlakuan, konsentrasi AB Mix, media tanam, dan interaksi antara keduanya tidak berpengaruh signifikan terhadap kadar klorofil total tanaman kale. Hasil pengamatan kering segar total tanaman pada Tabel 11.

Tabel 11. Data kadar klorofil total Perlakuan Komposisi Media Tanam dan Konsentrasi AB Mix.

Media Tanam	Konsentrasi AB Mix				Rerata
	800	900	1000	1100	
	(mg/g)				
Cocopeat	1,86	1,39	1,10	1,62	1,49
Arang Sekam	1,72	1,44	1,50	1,36	1,51
Rata Total	1,79	1,42	1,30	1,49	

* Superskrip berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan nyata ($P < 0,05$)

Berdasarkan Tabel 11 kadar klorofil total cenderung sedikit menurun seiring peningkatan konsentrasi AB Mix, terutama pada 1000–1100 ppm, yang dapat mengindikasikan kelebihan nutrisi mulai menimbulkan stres atau ketidakseimbangan fisiologis sehingga efisiensi fotosintesis dan pembentukan klorofil tidak lagi optimal. Hal ini sesuai Budianto dan Arsyadmunir, (2013) yang menyatakan bahwa klorofil total pada cocopeat juga tampak sedikit lebih tinggi

dibanding arang sekam karena cocopeat lebih mampu menjaga kelembapan dan stabilitas zona akar, sedangkan arang sekam relatif kurang menahan air meski aerasinya baik. Namun, hasil ANOVA (Lampiran 10) menunjukkan perlakuan, konsentrasi, dan interaksi tidak signifikan, sehingga pada variasi yang terlihat belum cukup kuat untuk dinyatakan sebagai pengaruh nyata terhadap kandungan pada klorofil total tanaman sayuran kale.

Kadar klorofil total tidak dipengaruhi nyata oleh konsentrasi AB Mix, media tanam, maupun interaksi keduanya. Temuan ini sangat relevan dengan penelitian yang dilakukan oleh peneliti yang dilakukan Martínez-Moreno *et al.* (2024) yang menunjukkan bahwa manajemen larutan nutrisi dapat memengaruhi kualitas fisiologis tanaman, termasuk kandungan klorofil. Namun, perubahan klorofil sangat bergantung pada keseimbangan nutrisi dan kemampuan tanaman mengatur metabolisme fotosintesis. Dalam penelitian ini, tidak nyatanya kadar klorofil total menunjukkan bahwa tanaman kale masih mampu mempertahankan stabilitas pigmen fotosintetik pada berbagai konsentrasi AB Mix dan media tanam yang diuji.

Penelitian yang dilakukan oleh Yang *et al.* (2024) juga mendukung pembahasan ini karena menunjukkan bahwa total klorofil pada tanaman hidroponik dipengaruhi oleh sistem budidaya, musim, dan kondisi fisiologis tanaman. Dengan demikian, kandungan klorofil total tidak hanya merefleksikan ketersediaan nutrisi, tetapi juga respons tanaman terhadap lingkungan tumbuh secara menyeluruh. Kecenderungan penurunan klorofil total pada konsentrasi 1000–1100 ppm dalam penelitian ini dapat dijelaskan sebagai kemungkinan respons terhadap konsentrasi nutrisi yang mulai kurang efisien bagi pembentukan pigmen. Namun, karena tidak

signifikan secara statistik, hasil ini lebih tepat diposisikan sebagai kecenderungan fisiologis, bukan sebagai pengaruh perlakuan yang pasti.

Klorofil total yang tidak berpengaruh nyata menunjukkan bahwa keseluruhan pigmen fotosintetik tanaman kale masih berada pada kondisi relatif stabil. Penelitian yang dilakukan Zhou *et al.* (2025) melaporkan bahwa kombinasi natrium klorida konsentrasi rendah dan melatonin dapat meningkatkan kualitas Chinese kale sprouts melalui regulasi jalur biosintesis klorofil dan senyawa bioaktif lainnya. Temuan tersebut memperkuat bahwa klorofil total dapat berubah apabila tanaman menerima perlakuan fisiologis tertentu, tetapi perlakuan AB Mix dan media tanam belum cukup kuat untuk memicu perubahan nyata. Penelitian yang dilakukan pada Tang *et al.* (2025) juga menunjukkan bahwa melatonin dapat meningkatkan kandungan klorofil dan karotenoid pada *Chinese kale sprouts*. Hal ini mendukung pemahaman bahwa klorofil total sangat dipengaruhi oleh regulasi metabolisme tanaman, kondisi lingkungan, dan respons fisiologis terhadap perlakuan. Dengan demikian, kecenderungan penurunan atau perubahan klorofil total pada penelitian ini lebih tepat dijelaskan sebagai variasi fisiologis yang belum terbukti signifikan secara statistik.

Kadar klorofil total dalam penelitian ini tidak menunjukkan pengaruh nyata terhadap konsentrasi AB Mix, media tanam, maupun interaksinya. Hasil ini dapat diperkuat oleh penelitian Rasyidi *et al.* (2024) yang membahas kadar klorofil daun pada berbagai perlakuan. Klorofil total merupakan gabungan kandungan klorofil a dan klorofil b, sehingga nilainya menggambarkan kapasitas umum tanaman dalam menangkap cahaya untuk fotosintesis. Namun, kandungan klorofil total tidak hanya

dipengaruhi oleh nutrisi, tetapi juga oleh umur daun, intensitas cahaya, ketersediaan air, dan kondisi fisiologis tanaman. Dengan demikian, tidak nyatanya kadar klorofil total pada penelitian ini menunjukkan bahwa perlakuan yang diberikan belum cukup kuat untuk mengubah kapasitas fotosintetik tanaman kale secara signifikan. Penelitian yang dilakukan pada Agong *et al.* (2025) juga relevan karena membahas kandungan klorofil a, klorofil b, dan klorofil total pada tanaman. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa klorofil total dapat berubah akibat perlakuan tertentu, tetapi perubahan tersebut sangat bergantung pada respons fisiologis tanaman terhadap lingkungan. Kadar klorofil total pada tanaman sayuran kale cenderung mengalami variasi antar perlakuan. Hal ini telah mengindikasikan bahwasannya pada tanaman sayuran kale masih mampu mempertahankan kestabilan pigmen fotosintetik.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Simpulan yang terdapat pada pertumbuhan dan produksi tanaman kale pada faktor konsentrasi yang terbaik yang dapat digunakan adalah pada nilai 1.100 ppm dan pada faktor media tanam yang terbaik yang dapat digunakan adalah cocopeat disertai dengan perawatan tanaman yang baik sehingga kita bisa mendapatkan hasil yang optimal dan maksimal.

5.2 Saran

Saran yang terdapat pada pertumbuhan dan produksi tanaman kale adalah melakukan penelitian lebih lanjut terkait konsentrasi dan media tanam untuk pengembangan tanaman sayur kale di Indonesia serta sewaktu pada penelitian ini dibutuhkan ketenangan dan proses yang bertahap dengan baik sehingga yang kita lakukan benar-benar terlaksana dengan baik dan hasil yang didapat dapat tergambar dengan baik dan maksimal yang sesuai.

DAFTAR PUSTAKA

- Alizaeh, P., H. Sodaiezade, A. M. Arani, dan M. A. Hakimzadeh. 2025. *Comparing yield, nutrient uptake and water use efficiency of Nasturtium officinale cultivated in aquaponic, hydroponic, and soil systems*. J. Heliyon. 11, e42339. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e42339>.
- Alkaabi, A., E. Almansoori, M. A. L. Hebsi, S. Aldhaheri, S., Hassan, F. E. Ali, N. A. A. Al Shurafa, K. A. Tzortzakis, N. F. Di Gioia, dan Z. F. R. Ahmed. 2025. *Vertical hydroponic lettuce: Impact of organic nutrients on antioxidant phytochemicals*. J. Annals of Agricultural Sciences. 70, 100386. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2025.100386>.
- Alneyadi, K. S. S., M. S. B. Almheiri, N. Tzortzakis, F. Di Gioia, dan Z. F. R. Ahmed. 2024. *Organic-based nutrient solutions for sustainable vegetable production in a zero-runoff soilless growing system*. Journal of Agriculture and Food Research. 15. 101035. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101035>.
- Ashenafi, E. L., M. C. Nyman, J. M. Holley, N. S. Mattson, dan A. Rangarajan. 2022. *Phenotypic plasticity and nutritional quality of three kale cultivars (Brassica oleracea L. var. acephala) under field, greenhouse, and growth chamber environments*. J. Environmental and Experimental Botany. 199. 104895. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.104895>.
- Ashraf, M. dan P. J. C. Harris. 2013. *Photosynthesis under stressful environments: An overview*. J. Photosynthetica. 51(2) : 163-190.
- Brouwer, R. 1983. *Functional Equilibrium: Sense or Nonsense? Netherlands*

Journal of Agricultural Science. 31(4) : 335-348.

Budianto, M. I. dan A. Arsyadmunir. 2013. Pertumbuhan stek cabe jamu (*Piper retrofractum*. Vahl) pada berbagai campuran media tanam dan konsentrasi zat pengatur tumbuh rootone-f. J. Agrovigor. 6(2) : 112-120.

Fadhillah, S., dan N. Aini. 2019. Pengaruh konsentrasi dan lama perendaman ZPT sintetis terhadap pertumbuhan stek tanaman mawar (*Rosa centifolia* L.). J. Produksi Tanaman. 7(2) : 361-369.

Fisk, J. C., J. Kershaw, L. J. Fleckenstein, dan A. J. Ray. 2026. *Salinity impacts on aquaponic kale winterbor (Brassica oleracea): Production, water quality, and sensory properties*. J. Aquaculture Reports. 46. 103332. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2025.103332>.

Gruda, N. 2009. *Do soilless culture systems have an influence on product quality of vegetables?*. Journal of Applied Botany and Food Quality. 82 : 141-147.

Gunjal, M., J. Singh, J. Kaur, S. Kaur, V. Nanda, C. M. Mehta, V. Bhadariya, dan P. Rasane. 2024. *Comparative analysis of morphological, nutritional, and bioactive properties of selected microgreens in alternative growing medium*. South African Journal of Botany. 165 : 188-201. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.12.038>.

Hevira, L., D. Ariza, dan A. Rahmi. 2021. Pembuatan biofoam berbahan dasar ampas tebu dan whey. J. Kimia dan Kemasan. 43(2) : 75-81.

Jihadiyah, K. 2018. *Efektivitas beberapa ab mix (IBA, IAA dan NAA) terhadap induksi akar tanaman tin (Ficus carica L.) melalui teknik stek*

- mikro* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang).
- John, S., M. Sankar, U. Sreelatha, K. A. Kumar, dan K. B. Deepthy. 2020. *Morphological and floral characters of rose as influenced by growing media and growth regulators. Journal of Tropical Agriculture*. 58(1).
- Jones, J. B. 2014. *Complete Guide for Growing Plants Hydroponically*. CRC Press.
- Laki, A. S., M. A. Wahyuningrum, dan R. Nurjasmi. 2021. Pengaruh pupuk organik terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman kale (*Brassica oleracea acephala*) sistem vertikultur. *J. Ilmiah Respati*. 12(2) : 133-146.
- Laki, A., A. Muhibuddin, S. A. Syaiful. 2020. *The Effect of Growing Media and AB Mix Nutrition Concentration on the Growth and Yield of Lettuce (Lactuca sativa L.) in Hydroponic Wick System. Journal of Agricultural Science and Technology*. 22(3) : 567-578.
- Marfirani, M., Y. S. Rahayu, dan E. Ratnasari. 2014. Pengaruh pemberian berbagai konsentrasi filtrat umbi bawang merah dan rootone-F terhadap pertumbuhan stek melati “Rato Ebu”. *J. LenteraBio*. 3(1) : 73-76.
- Marschner, H. 2012. *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants* (3rd ed.). Academic Press.
- Martínez-Moreno, A., J. Carmona, V. Martínez, F. Garcia-Sánchez, T. C. Mestre, V. Navarro-Pérez, dan J. M. Cámara-Zapata. 2024. *Reducing nitrate accumulation through the management of nutrient solution in a floating system lettuce (Lactuca sativa, L.). J. Scientia Horticulturae*. 336. 113377. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113377>.

- Muslimah, S., H. Jumin, dan N. Nelly. 2020. Pengaruh konsentrasi nutrisi ab mix dan media tanam terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman selada (*Lactuca sativa* L.) sistem hidroponik NFT. J. Agronomi Tanaman Tropika. 2(2) : 142-153.
- Muslimah, Y., S. F. Lizmah, dan N. Fayanti. 2020. *Growth response of melati plant (Jasminum sambac L.) against types of media plants and types of growing agents*. Birex Journal. 2(2) : 188-200.
- Netto, A. T., E. Campostrini, J. G. de Oliveira, dan R. E. Bressan-Smith. 2005. *Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves*. J. Scientia Horticulturae. 104(2) : 199-209.
- Ntagkas, N., E. Woltering, L. F. M. Marcells. 2018. *Light regulates ascorbate in plants: An integrated view on physiology and biochemistry*. J. Environmental and Experimental Botany. 147 : 271-280.
- Poorter, H., K. J. Niklas, P. B. Reich, J. Oleksyn, P. Poot, dan L. Mommer. 2012. *Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analyses of interspecific variation and environmental control*. J. New Phytologist. 193(1) : 30-50.
- Pratiwi, N. E., B. H. Simanjuntak, dan D. Banjarnahor. 2017. Pengaruh campuran media tanam terhadap pertumbuhan tanaman stroberi (*Fragaria vesca* L.) sebagai tanaman hias taman vertikal. J. Agric. 29(1) : 11-20.
- Pratiwi, R., E. Purwanto, dan R. Soelistyono. 2017. Respon pertumbuhan dan produksi tanaman pakcoy (*Brassica rapa* L.) terhadap pemberian

berbagai konsentrasi nutrisi ab mix pada sistem hidroponik rakit apung. *J. Produksi Tanaman*. 5(5) : 823-830.

Putra, P. A. dan H. Yuliando. 2015. *Soilless Culture System to Support Water Use Efficiency and Quality of Plant Production: A Review*. *J. Agricultural Science*. 1(2) : 1-11.

Ramakrishna, A. dan G. A. Ravishankar. 2011. *Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants*. *J. Plant Signaling and Behavior*. 6(11) : 1720-1731.

Resh, H. M. 2022. *Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower* (8th ed.). CRC Press.

Sambo, P., C. Nicoletto, A. Giro, Y. Pii, F. Valentinuzzi, T. Mimmo, T. dan S. Cesco. 2019. *Hydroponic Solutions for Soilless Production Systems: Issues and Opportunities in a Smart Agriculture Perspective*. *J. Frontiers in Plant Science*. 10. 923.

Savvas, D., dan N. Gruda. 2018. *Application of Soilless Culture Technologies in the Modern Greenhouse Industry – A Review*. *European Journal of Horticultural Science*. 83(5) : 280-293.

Shita, M. L. 2020. Pengaruh komposisi media tanam dan konsentrasi giberelin terhadap pertumbuhan dan hasil bunga mawar (*Rosa hybrida* L.). *J. Ilmiah Mahasiswa Pertanian*. 5(2) : 51-60.

Sronsri, C., W. Sittipol, dan K. U-yen. 2022. *Quantity and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown by a circulating hydroponic method with a*

Halbach array magnetizer. Journal of Food Composition and Analysis.

108. 104460. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104460>.

Taiz, L., E. Zeiger, I. M. Møller, dan A. Murphy, A. 2015. *Plant Physiology and Development (6th ed.)*. J. Sinauer Associates.

Trejo-Téllez, L. I. dan F. C. Gómez-Merino, F. C. 2012. *Nutrient solutions for hydroponic systems. In Hydroponics - A Standard Methodology for Plant J. Biological Researches*. (pp. 1-22). InTech.

Vahl, M., S. T. Soukup, F. Beer, C. H. Weinert, F. Petersen, S. E. Kulling, dan A. Ulbrich. 2026. *Influence of hydroponic cultivation subsystems on vegetative growth, vigour, and metabolite profiles in vanilla. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 101(1) : 150-166. <https://doi.org/10.1080/14620316.2025.2515959>.

Yang, T., U. Samarakoon, dan J. Altland. 2024. *Growth, phytochemical concentration, nutrient uptake, and water consumption of butterhead lettuce in response to hydroponic system design and growing season. J. Scientia Horticulturae*. 332. 113201. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113201>.