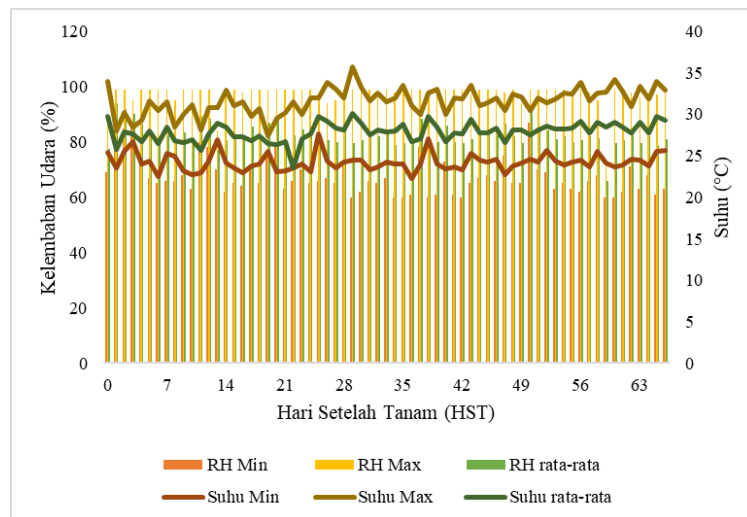


BAB IV

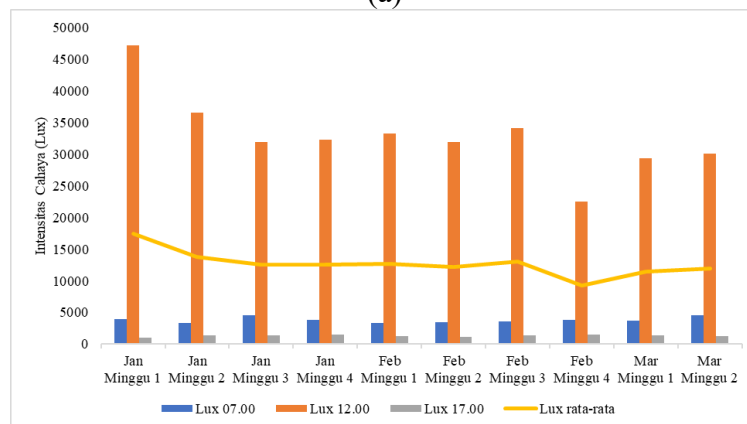
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Kondisi Lingkungan

Kondisi lingkungan di dalam *greenhouse* dipantau melalui pengukuran suhu dan kelembaban udara (RH) minimum serta maksimum secara harian selama penelitian. Intensitas cahaya matahari diukur setiap minggu pada pukul 07.00, 12.00, dan 17.00 WIB. Kondisi lingkungan *greenhouse* disajikan pada Ilustrasi 11.



(a)



(b)

Ilustrasi 11. Kondisi Lingkungan *Greenhouse*; (a) Grafik Suhu dan Kelembaban; (b) Grafik Intensitas Cahaya Matahari

Berdasarkan Ilustrasi 11 menunjukkan suhu minimum dan maksimum di dalam *greenhouse* masing-masing mencapai 24,2°C dan 31,6°C, dengan suhu rata-rata sebesar 27,8°C. Suhu minimum yang tercatat sedikit di bawah kisaran optimal, sedangkan suhu maksimum masih berada dalam kisaran optimal pertumbuhan bawang merah, sehingga kondisi tersebut masih dapat ditoleransi tanaman. Menurut Alfiani *et al.* (2021) suhu optimal pertumbuhan bawang merah berkisar 25-32°C dengan batas toleransi minimum 22°C karena suhu di bawah 22°C dapat menghambat pembentukan umbi. Kelembaban udara (RH) menunjukkan nilai minimum sebesar 67,6% dan maksimum 97,5%, dengan rata-rata kelembaban 82,5%. Kelembaban minimum masih sesuai untuk pertumbuhan bawang merah, sedangkan kelembaban maksimum dan kelembaban rata-rata cenderung lebih tinggi dari kondisi optimal tanaman. Menurut Bagaskara *et al.* (2023), kelembaban udara yang optimal untuk pertumbuhan bawang merah berkisar antara 50-70%.

Intensitas cahaya di dalam *greenhouse* menunjukkan nilai rata-rata pada pukul 07.00 sebesar 3.813 lux, pukul 12.00 sebesar 32.912 lux, dan pukul 17.00 sebesar 1.287 lux, sehingga rata-rata keseluruhan mencapai 12.671 lux. Intensitas cahaya yang optimal berkisar antara 50.000 - 60.000 lux, sehingga intensitas di dalam *greenhouse* tidak cukup untuk pertumbuhan bawang merah yang mengakibatkan hubungan *source* dan *sink* terganggu. Rendahnya intensitas cahaya menurunkan laju fotosintesis dan produksi karbohidrat tanaman, sehingga ketersediaan fotosintat pada organ *source* menjadi terbatas dan pasokan asimilat ke organ *sink* berkurang, yang pada akhirnya menghambat pertumbuhan serta perkembangan tanaman (Hemon *et al.*, 2022; Christiaens *et al.*, 2016).

4.2. Rekapitulasi Hasil Analisis Ragam dan Uji Lanjut DMRT

Rekapitulasi hasil parameter berdasarkan analisis ragam dan uji lanjut *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) taraf 5% dilakukan untuk mengetahui pengaruh perlakuan cekaman kekeringan dan konsentrasi biostimulan ekstrak rumput laut merah terhadap kondisi fisiologis tanaman bawang merah. Kompilasi hasil parameter disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi Hasil Analisis Ragam dan Uji Lanjut DMRT pada Seluruh Parameter

No.	Parameter	Cekaman Kekeringan (K0/K1)	Biostimulan (B0/B1/B2/B3)	Interaksi (K×B)
1.	<i>Leaf Relative Water Content</i>	tn	tn	tn
2.	Kerapatan Stomata	tn	tn	tn
3.	Lebar Bukaan Stomata	tn	*(b/ab/a/a)	tn
4.	Kebocoran Elektrolit	tn	tn	tn
5.	<i>Membrane Stability Index</i>	tn	tn	tn
6.	Klorofil	tn	tn	tn
7.	Karotenoid	tn	tn	tn
8.	<i>Water Use Efficiency</i>	*(b/a)	tn	tn
9.	Kadar Prolin	*(b/a)	tn	*
				K0: (b/b/ab/b) K1: (a/b/b/ab)
10.	Kadar Malondialdehyde	*(b/a)	*(a/b/ab/ab)	tn
11.	Tinggi Tanaman	tn	*(b/a/ab/ab)	tn
12.	Jumlah Daun	*(a/b)	*(b/a/a/b)	tn
13.	Luas Daun	*(a/b)	*(b/a/a/b)	tn
14.	Bobot Segar Biomassa Tanaman	*(a/b)	tn	tn
15.	Bobot Kering Biomassa Tanaman	tn	tn	tn
16.	Rasio Akar Tajuk	tn	tn	tn

K = Cekaman Kekeringan (K0 = 80% KL, K1 = 40% KL); B = Konsentrasi Biostimulan Ekstrak Rumput Laut Merah (B0 = 0%, B1 = 1%, B2 = 2%, dan B3 = 3%); * = berpengaruh nyata; tn = tidak berpengaruh nyata.

Berdasarkan Tabel 1 dapat diketahui bahwa perlakuan petak utama berupa cekaman kekeringan memberikan pengaruh nyata pada parameter *water use efficiency*, kadar prolin, kadar malondialdehyde, jumlah daun, luas daun, dan bobot segar biomassa tanaman. Perlakuan anak petak berupa konsentrasi biostimulan ekstrak rumput laut merah juga berpengaruh nyata pada parameter lebar bukaan stomata, kadar malondialdehyde, tinggi tanaman, jumlah daun, dan luas daun. Interaksi antara kedua perlakuan berpengaruh nyata pada parameter kadar prolin.

4.3. *Leaf Relative Water Content*

Berdasarkan hasil analisis ragam menunjukkan perlakuan petak utama berupa cekaman kekeringan serta perlakuan anak petak berupa konsentrasi biostimulan ekstrak rumput laut merah tidak berpengaruh nyata pada parameter *leaf relative water content*. Interaksi antara cekaman kekeringan dan konsentrasi biostimulan ekstrak rumput laut merah tidak memberikan pengaruh nyata pada parameter *leaf relative water content* (Lampiran 12.). Hasil uji lanjut *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) parameter *leaf relative water content* disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. *Leaf Relative Water Content* Tanaman Bawang Merah

Cekaman Kekeringan	Konsentrasi Biostimulan Ekstrak Rumput Laut Merah				Rata - Rata
	0%	1%	2%	3%	
	------(%)-----				
80% KL	70,82	81,11	68,36	80,60	75,22
40% KL	75,71	71,88	61,38	71,09	70,01
Rata – Rata	73,26	76,49	64,87	75,84	

KL = Kapasitas Lapang.

Berdasarkan Tabel 2 menunjukkan bahwa hasil uji lanjut DMRT 5% perlakuan cekaman kekeringan tidak berbeda nyata antar taraf perlakuan pada

parameter *leaf relative water content* (LRWC). Hal ini mengindikasikan tanaman bawang merah masih mampu mempertahankan LRWC pada kondisi cekaman yang diberikan melalui mekanisme adaptasi fisiologis tanaman, seperti penyesuaian osmotik. Hal ini sesuai dengan pendapat Turner (2018) yang menyatakan bahwa tanaman dapat mempertahankan status air daun melalui mekanisme penyesuaian osmotik (*osmotic adjustment*) sehingga turgor sel tetap terjaga pada kondisi cekaman kekeringan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tingkat cekaman kekeringan yang diberikan belum cukup menimbulkan stres signifikan, sehingga LRWC tetap stabil sebagai respons tanaman terhadap ketersediaan air. Hal ini didukung oleh Fahad *et al.* (2017) yang menyatakan bahwa ketersediaan air yang lebih tinggi memungkinkan tanaman menyerap air secara lebih optimal sehingga status air daun dan tekanan turgor sel tetap terjaga.

Perlakuan konsentrasi biostimulan ekstrak rumput laut merah tidak berbeda nyata antar taraf perlakuan pada parameter *leaf relative water content* (LRWC). Hal ini menunjukkan bahwa pemberian biostimulan ekstrak rumput laut merah belum mampu meningkatkan kandungan air relatif daun secara signifikan pada tanaman bawang merah. Kondisi tersebut disebabkan karena nilai LRWC lebih dipengaruhi oleh ketersediaan air dalam media tanam dibandingkan pemberian biostimulan. Hal ini didukung oleh Blum dan Tuberosa (2018) bahwa status air tanaman berkaitan erat dengan ketersediaan air dan kemampuan tanaman dalam mempertahankan keseimbangan air pada kondisi cekaman. Konsentrasi biostimulan ekstrak rumput laut merah yang diberikan pada penelitian ini belum cukup memberikan respons yang signifikan pada parameter LRWC. Pemberian konsentrasi biostimulan yang

tepat berpotensi mendukung tanaman karena kandungan senyawa bioaktifnya. Hal ini sesuai dengan pendapat Ali *et al.* (2021) bahwa ekstrak rumput laut mengandung hormon tumbuh, asam amino, mineral, dan osmoprotektan yang berperan dalam mendukung proses fisiologis tanaman.

4.4. Kerapatan Stomata

Berdasarkan hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan cekaman kekeringan dan perlakuan konsentrasi biostimulan ekstrak rumput laut merah tidak berpengaruh nyata pada parameter kerapatan stomata. Interaksi antara cekaman kekeringan dan konsentrasi biostimulan ekstrak rumput laut merah tidak berpengaruh nyata pada parameter kerapatan stomata (Lampiran 13.). Hasil uji lanjut *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) parameter kerapatan stomata disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Kerapatan Stomata Tanaman Bawang Merah

Cekaman Kekeringan	Konsentrasi Biostimulan Ekstrak Rumput Laut Merah				Rata - Rata
	0%	1%	2%	3%	
	-----(mm^2)-----				
80% KL	26,75	25,90	27,18	25,48	26,33
40% KL	25,05	27,18	26,75	24,63	25,90
Rata – Rata	25,90	26,54	26,96	25,05	

KL = Kapasitas Lapang.

Berdasarkan Tabel 3 diketahui bahwa hasil uji lanjut DMRT 5% perlakuan cekaman kekeringan tidak berbeda nyata antar taraf perlakuan pada parameter kerapatan stomata. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat cekaman yang diberikan belum cukup untuk mengubah pola pembentukan stomata pada daun bawang merah. Pembentukan stomata merupakan bagian dari proses perkembangan

epidermis daun yang berlangsung secara terkoordinasi selama pertumbuhan tanaman. Hal ini sesuai dengan pendapat Qi dan Torii (2018) yang menyatakan bahwa perkembangan stomata diatur oleh mekanisme internal tanaman untuk menyeimbangkan kapasitas pertukaran gas dengan perkembangan jaringan daun. Tidak adanya respons terhadap cekaman kekeringan mengindikasikan bahwa kerapatan stomata pada bawang merah lebih bersifat stabil. Hal ini didukung oleh Han *et al.* (2021) bahwa regulasi genetik berperan utama dalam menentukan pola dan kerapatan stomata, sehingga karakter tersebut relatif tidak mudah berubah dalam kondisi lingkungan yang bervariasi, termasuk ketersediaan air.

Perlakuan konsentrasi biostimulan ekstrak rumput laut merah juga tidak berbeda nyata antar taraf perlakuan pada parameter kerapatan stomata. Kondisi ini menunjukkan bahwa biostimulan lebih berperan dalam aspek fisiologis lain dibandingkan mengubah struktur anatomi daun seperti kerapatan stomata. Hal ini sesuai dengan pendapat Pitardi *et al.* (2025) yang menyatakan bahwa kerapatan stomata merupakan karakter anatomi yang bersifat spesifik spesies dan dikendalikan secara genetik, sehingga relatif stabil terhadap perlakuan eksternal. Kerapatan stomata yang tidak berubah mengindikasikan bahwa kapasitas dasar pertukaran gas tanaman tetap terjaga. Kerapatan stomata berperan dalam mengatur keseimbangan antara masuknya CO₂ untuk fotosintesis dan kehilangan air melalui transpirasi. Hal ini sesuai dengan pendapat Lawson dan Leakey (2024) yang menyatakan bahwa konduktansi stomata dipengaruhi oleh kerapatan, ukuran, dan bukaan stomata, sehingga stabilitas kerapatan stomata turut menjaga kestabilan fungsi fisiologis tanaman.

4.5. Lebar Bukaannya Stomata

Berdasarkan hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan konsentrasi biostimulan ekstrak rumput laut merah berpengaruh nyata pada parameter lebar bukaan stomata. Perlakuan cekaman kekeringan dan interaksi antara cekaman kekeringan dan konsentrasi biostimulan ekstrak rumput laut merah tidak memberikan pengaruh nyata pada parameter lebar bukaan stomata (Lampiran 14.). Hasil uji lanjut *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) parameter lebar bukaan stomata disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Lebar Bukaannya Stomata Tanaman Bawang Merah

Cekaman Kekeringan	Konsentrasi Biostimulan Ekstrak Rumput Laut Merah				Rata - Rata
	0%	1%	2%	3%	
	-----(μm)-----				
80% KL	6,36	7,40	8,33	8,14	7,56
40% KL	6,46	7,61	7,69	8,23	7,50
Rata – Rata	6,41 ^b	7,50 ^{ab}	8,01 ^a	8,19 ^a	

KL = Kapasitas Lapang; Superskrip berbeda pada baris yang sama menunjukkan perbedaan nyata ($P < 0,05$).

Berdasarkan Tabel 4 menunjukkan bahwa hasil uji lanjut DMRT 5% perlakuan biostimulan ekstrak rumput laut merah berbeda nyata antar taraf perlakuan pada parameter lebar bukaan stomata. Konsentrasi biostimulan 2% dan 3% menunjukkan hasil tertinggi dan tidak berbeda nyata satu sama lain, namun keduanya berbeda nyata dengan konsentrasi biostimulan 0%, sementara konsentrasi biostimulan 1% berada pada posisi intermediet. Rata-rata lebar bukaan stomata meningkat seiring bertambahnya konsentrasi biostimulan, yaitu 6,41 μm (0%), 7,50 μm (1%), 8,01 μm (2%), dan 8,19 μm (3%). Peningkatan lebar bukaan stomata pada tanaman bawang merah yang diberi biostimulan ekstrak rumput laut merah

berkaitan dengan kandungan senyawa aktif yang terkandung di dalamnya. Hal ini sejalan dengan pendapat Ali *et al.* (2021) yang menyatakan bahwa ekstrak rumput laut mengandung substansi fitohormon seperti sitokinin, giberelin, auksin, serta betain yang berperan dalam mendukung proses fisiologis tanaman. Kandungan kalium (K) pada ekstrak rumput laut merah juga berperan dalam meningkatkan lebar bukaan stomata melalui pengaturan tekanan turgor sel penjaga. Hal ini sesuai dengan pendapat Nguyen *et al.* (2017) yang menyatakan bahwa ion K^+ berperan penting dalam pergerakan stomata melalui pengaturan tekanan turgor sel penjaga, sehingga akumulasi ion K^+ menyebabkan stomata membuka lebih lebar dan penyerapan CO_2 untuk proses fotosintesis dapat berlangsung lebih optimal.

Perlakuan cekaman kekeringan tidak berbeda nyata antar taraf perlakuan pada parameter lebar bukaan stomata. Nilai lebar bukaan stomata cenderung sama yaitu $7,56 \mu m$ pada 80% KL dan $7,50 \mu m$ pada 40% KL. Cekaman kekeringan yang diberikan pada penelitian ini masih dapat ditoleransi oleh tanaman bawang merah, sehingga stomata belum mengalami penyempitan secara signifikan. Hal ini sesuai dengan pendapat Lv *et al.* (2024) yang menyatakan bahwa semakin lebar bukaan stomata maka pertukaran gas terutama masuknya CO_2 untuk fotosintesis serta keluarnya uap air melalui stomata akan meningkat sehingga laju transpirasi dan kehilangan air pada tanaman menjadi lebih besar. Tanaman yang mengalami cekaman kekeringan umumnya akan mempersempit atau menutup stomata untuk mengurangi kehilangan air melalui transpirasi. Hal ini didukung oleh Aslam *et al.* (2022) yang menyatakan bahwa saat tanaman mengalami cekaman kekeringan, kandungan hormon asam absisat (ABA) meningkat dan memicu produksi *reactive*

oxygen species (ROS) yang menurunkan tekanan turgor sel penjaga sehingga stomata cenderung menutup.

4.6. Kebocoran Elektrolit

Berdasarkan hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan cekaman kekeringan serta perlakuan konsentrasi biostimulan ekstrak rumput laut merah tidak berpengaruh nyata pada parameter kebocoran elektrolit. Interaksi antara cekaman kekeringan dan konsentrasi biostimulan ekstrak rumput laut merah juga tidak memberikan pengaruh nyata pada parameter kebocoran elektrolit (Lampiran 15.). Hasil uji lanjut *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) parameter kebocoran elektrolit disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Kebocoran Elektrolit Tanaman Bawang Merah

Cekaman Kekeringan	Konsentrasi Biostimulan Ekstrak Rumput Laut Merah				Rata - Rata
	0%	1%	2%	3%	
	------(%)-----				
80% KL	8,62	9,09	8,24	8,52	8,62
40% KL	7,70	7,96	7,52	7,87	7,76
Rata – Rata	8,16	8,52	7,88	8,20	

KL = Kapasitas Lapang.

Berdasarkan Tabel 5 dapat diketahui bahwa hasil uji lanjut DMRT 5% perlakuan cekaman kekeringan tidak berbeda nyata antar taraf perlakuan pada parameter kebocoran elektrolit. Nilai kebocoran elektrolit pada tanaman cenderung rendah, yaitu 8,62% (80% KL) dan 7,76% (40% KL). Nilai kebocoran elektrolit yang rendah menunjukkan bahwa membran sel tidak mengalami kerusakan yang signifikan akibat cekaman kekeringan. Hal ini didukung oleh Bucher and Rosbakh (2021) bahwa rendahnya nilai *electrolyte leakage* (EL) mencerminkan kemampuan

tanaman dalam mempertahankan stabilitas membran sel sehingga kebocoran zat terlarut ke ruang ekstraseluler dapat diminimalkan. Tidak berbedanya kebocoran elektrolit antar taraf cekaman menunjukkan bahwa tingkat cekaman kekeringan yang diberikan belum menyebabkan gangguan permeabilitas membran sel pada tanaman bawang merah. Kondisi ini mengindikasikan bahwa cekaman yang diberikan belum cukup kuat untuk memicu kerusakan membran secara signifikan, sehingga tanaman masih mampu mempertahankan kestabilan fisiologisnya. Menurut Khan *et al.* (2018) rendahnya kebocoran elektrolit menunjukkan kemampuan tanaman mempertahankan integritas membran melalui penyesuaian osmotik, pemeliharaan turgor, dan sistem pertahanan antioksidan dalam menekan akumulasi *reactive oxygen species* (ROS) selama cekaman kekeringan.

Perlakuan konsentrasi biostimulan ekstrak rumput laut merah juga tidak berbeda nyata antar taraf perlakuan pada parameter kebocoran elektrolit. Rata-rata nilai kebocoran elektrolit pada perlakuan konsentrasi biostimulan berturut-turut sebesar 8,16% (0%), 8,52% (1%), 7,88% (2%), dan 8,20% (3%). Nilai kebocoran elektrolit pada seluruh perlakuan cenderung rendah dan berada pada kisaran yang relatif berdekatan, sehingga menunjukkan bahwa kondisi membran sel tanaman masih relatif stabil pada seluruh perlakuan. Rendahnya nilai kebocoran elektrolit mengindikasikan bahwa membran sel masih mampu mempertahankan integritasnya sehingga kehilangan ion atau zat terlarut dari sel dapat diminimalkan. Hal ini sejalan dengan pendapat Parkash dan Singh (2020) yang menyatakan bahwa nilai kebocoran elektrolit yang rendah mencerminkan stabilitas dan integritas membran sel yang lebih baik karena membran masih berfungsi sebagai penghalang

yang efektif dalam mencegah keluarnya ion-ion seluler akibat kerusakan sel. Tidak berbeda nyata nilai kebocoran elektrolit antar taraf konsentrasi biostimulan menunjukkan bahwa pemberian ekstrak rumput laut merah pada konsentrasi yang diberikan belum memberikan respons yang berbeda nyata pada kebocoran elektrolit tanaman bawang merah. Menurut Sible *et al.* (2020) respons tanaman terhadap aplikasi biostimulan cenderung bervariasi tergantung pada jenis tanaman, dosis, metode aplikasi, serta kondisi lingkungan.

4.7. *Membrane Stability Index*

Berdasarkan hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan cekaman kekeringan serta perlakuan konsentrasi biostimulan ekstrak rumput laut merah tidak berpengaruh nyata pada parameter *membrane stability index*. Interaksi antara cekaman kekeringan dan konsentrasi biostimulan ekstrak rumput laut merah juga tidak memberikan pengaruh nyata pada parameter *membrane stability index* (Lampiran 16.). Hasil uji lanjut *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) parameter *membrane stability index* disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. *Membrane Stability Index* Tanaman Bawang Merah

Cekaman Kekeringan	Konsentrasi Biostimulan Ekstrak Rumput Laut Merah				Rata - Rata
	0%	1%	2%	3%	
	------(%)-----				
80% KL	91,38	90,91	91,76	91,48	91,38
40% KL	92,30	92,04	92,48	92,13	92,24
Rata – Rata	91,84	91,48	92,12	91,80	

KL = Kapasitas Lapang.

Berdasarkan Tabel 6 menunjukkan bahwa hasil uji lanjut DMRT 5% perlakuan cekaman kekeringan tidak berbeda nyata antar taraf perlakuan pada

parameter *membrane stability index* (MSI). Nilai MSI pada kedua taraf cekaman cenderung tinggi, yaitu 91,38% (80% KL) dan 92,24% (40% KL). Tingginya nilai MSI menunjukkan bahwa integritas membran sel tanaman masih dapat dipertahankan dengan baik selama kondisi cekaman kekeringan. Membran sel yang stabil mencerminkan rendahnya tingkat kerusakan membran dan kebocoran elektrolit, sehingga fungsi fisiologis sel masih dapat berlangsung secara normal. Menurut Dwivedi *et al.* (2018), *membrane stability index* merupakan salah satu indikator untuk mengevaluasi toleransi tanaman terhadap cekaman kekeringan, bahwa tanaman yang lebih toleran umumnya mampu mempertahankan nilai MSI yang tinggi pada kondisi defisit air. Tidak berbeda nyata antara taraf perlakuan cekaman kekeringan pada parameter MSI dipengaruhi oleh mekanisme pertahanan tanaman. Hal ini didukung oleh Zayed *et al.* (2023) yang menyatakan bahwa pada kondisi kekeringan tanaman dapat mempertahankan stabilitas membran sel melalui peningkatan aktivitas enzim antioksidan untuk menekan akumulasi *reactive oxygen species* (ROS) yang berpotensi merusak membran, serta akumulasi prolin sebagai osmoprotektan yang membantu menjaga status air sel.

Perlakuan konsentrasi biostimulan ekstrak rumput laut merah juga tidak berbeda nyata antara taraf perlakuan pada parameter *membrane stability index* (MSI). Konsentrasi biostimulan yang diberikan menunjukkan respons yang relatif serupa dengan perlakuan kontrol. Konsentrasi yang diberikan belum berada pada tingkat optimal untuk memicu respons fisiologis tanaman. Hal ini didukung oleh pendapat Arinaitwe *et al.* (2025) bahwa efektivitas biostimulan sangat dipengaruhi oleh jenis tanaman, kondisi lingkungan, tingkat cekaman, serta dosis dan waktu

aplikasi, sehingga respons tanaman dapat berbeda pada setiap kondisi. Biostimulan ekstrak rumput laut merah secara teoritis mengandung berbagai senyawa bioaktif seperti polisakarida, betain, dan senyawa mirip fitohormon yang berpotensi membantu tanaman menghadapi cekaman kekeringan melalui peningkatan aktivitas antioksidan dan penyesuaian osmotik untuk menjaga integritas sel, namun respons tersebut belum tampak secara nyata pada penelitian ini. Menurut Mannan *et al.* (2023), ekstrak rumput laut berperan dalam meningkatkan toleransi tanaman terhadap cekaman melalui penguatan sistem pertahanan antioksidan dan mekanisme penyesuaian osmotik.

4.8. Kadar Klorofil

Berdasarkan hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan cekaman kekeringan serta perlakuan konsentrasi biostimulan ekstrak rumput laut merah tidak berpengaruh nyata pada parameter kadar klorofil. Interaksi antara cekaman kekeringan dan konsentrasi biostimulan ekstrak rumput laut merah tidak berpengaruh nyata pada parameter kadar klorofil (Lampiran 17.). Hasil uji lanjut *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) parameter kadar klorofil disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Kadar Klorofil Tanaman Bawang Merah

Cekaman Kekeringan	Konsentrasi Biostimulan Ekstrak Rumput Laut Merah				Rata - Rata
	0%	1%	2%	3%	
	------(mg/g)-----				
80% KL	0,58	0,63	0,58	0,58	0,59
40% KL	0,62	0,58	0,63	0,61	0,61
Rata – Rata	0,60	0,61	0,60	0,59	

KL = Kapasitas Lapang.

Berdasarkan Tabel 7 dapat diketahui bahwa hasil uji lanjut DMRT 5% perlakuan cekaman kekeringan tidak berbeda nyata antar taraf perlakuan pada parameter kadar klorofil. Ketersediaan air yang semakin terbatas seharusnya dapat menyebabkan degradasi klorofil dan memengaruhi kandungan klorofil daun sebagai salah satu respons fisiologis tanaman terhadap stres. Hal ini sesuai dengan pendapat González-Espíndola *et al.* (2024) yang menyatakan bahwa cekaman kekeringan umumnya dapat menurunkan kandungan klorofil akibat terganggunya sistem fotosintesis, namun pada kondisi tertentu tanaman masih mampu mempertahankan stabilitas pigmen fotosintetik melalui mekanisme adaptasi fisiologis terhadap cekaman air. Nilai kadar klorofil antar perlakuan relatif sama, yang menunjukkan bahwa tanaman bawang merah masih mampu beradaptasi pada kondisi cekaman yang diberikan. Kondisi tersebut karena tingkat cekaman belum cukup berat untuk menghambat biosintesis maupun mengaktifkan degradasi klorofil secara signifikan. Hal ini sesuai dengan pendapat Karami *et al.* (2025) yang menyatakan bahwa penurunan kandungan klorofil akibat cekaman kekeringan umumnya terjadi ketika stres air telah menghambat biosintesis dan mengaktifkan jalur degradasi klorofil pada tanaman.

Perlakuan konsentrasi biostimulan ekstrak rumput laut merah juga tidak berbeda nyata antar taraf perlakuan pada parameter kadar klorofil. Konsentrasi biostimulan seharusnya dapat mendukung aktivitas fotosintesis pada tanaman. Hal ini sesuai dengan pendapat Yao *et al.* (2020) yang menyatakan bahwa ekstrak rumput laut mengandung berbagai zat pengatur tumbuh seperti auksin, sitokinin, dan betain yang berperan dalam meningkatkan kapasitas fotosintesis serta

pembentukan pigmen klorofil pada tanaman. Nilai kadar klorofil yang relatif sama menunjukkan bahwa tanaman masih mampu mempertahankan kandungan klorofilnya. Hal ini didukung oleh Tamary *et al.* (2019) yang menyatakan bahwa nilai klorofil yang stabil dipengaruhi oleh struktur kloroplas, susunan tilakoid, dan efisiensi fotosistem II yang masih stabil sehingga aktivitas fotosintesis tetap berlangsung dengan baik.

4.9. Kadar Karotenoid

Berdasarkan hasil analisis ragam menunjukkan bahwa cekaman kekeringan serta perlakuan konsentrasi biostimulan ekstrak rumput laut merah tidak berpengaruh nyata pada parameter kadar karotenoid. Interaksi antara cekaman kekeringan dan konsentrasi biostimulan ekstrak rumput laut merah juga tidak memberikan pengaruh nyata pada parameter kadar karotenoid (Lampiran 18). Hasil uji lanjut *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) parameter kadar karotenoid disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Kadar Karotenoid Tanaman Bawang Merah

Cekaman Kekeringan	Konsentrasi Biostimulan Ekstrak Rumput Laut Merah				Rata - Rata
	0%	1%	2%	3%	
	------(mg/g)-----				
80% KL	191,63	207,95	189,67	187,58	194,21
40% KL	208,30	193,30	212,39	174,08	197,02
Rata – Rata	199,96	200,63	201,03	180,83	

KL = Kapasitas Lapang.

Berdasarkan Tabel 8 menunjukkan bahwa hasil uji lanjut DMRT 5% perlakuan cekaman kekeringan tidak berbeda nyata antar taraf perlakuan pada parameter kadar karotenoid. Nilai rata-rata kadar karotenoid pada masing-masing

taraf cekaman tidak jauh berbeda yang menunjukkan bahwa tanaman masih belum mengalami stres kekeringan secara berat. Menurut Lee *et al.* (2022), karotenoid berperan sebagai antioksidan alami yang melindungi sel dari stres oksidatif akibat akumulasi ROS. Cekaman kekeringan yang diberikan belum menyebabkan peningkatan ROS secara berlebihan sehingga kandungan karotenoid tanaman masih relatif stabil. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa tanaman masih toleran terhadap cekaman yang diberikan. Karotenoid terlibat dalam mekanisme fotoproteksi dengan meredam ROS untuk melindungi sistem fotosintesis tanaman. Hal ini sesuai dengan pendapat Sun *et al.* (2022) yang menyatakan bahwa karotenoid berfungsi menonaktifkan singlet oxygen serta meredam ROS untuk mencegah kerusakan pada sistem fotosintesis tanaman.

Perlakuan konsentrasi biostimulan ekstrak rumput laut merah juga tidak berbeda nyata antar taraf perlakuan pada parameter kadar karotenoid. Biostimulan ekstrak rumput laut merah mengandung senyawa bioaktif yang berperan dalam mendukung kestabilan pigmen fotosintesis tanaman. Hal ini didukung oleh Nivetha *et al.* (2024) yang menyatakan bahwa aplikasi biostimulan berbahan dasar rumput laut merah berpotensi meningkatkan kandungan klorofil dan karotenoid melalui pengaturan proses fotosintesis dan metabolisme tanaman. Kadar karotenoid pada penelitian ini cenderung stabil antar taraf perlakuan sehingga tidak menunjukkan perbedaan nyata. Kondisi tersebut sejalan dengan pendapat Franzoni *et al.* (2022) bahwa efektivitas biostimulan terhadap akumulasi metabolit sekunder, termasuk karotenoid dipengaruhi oleh kondisi tanaman dan lingkungan, sehingga biostimulan tidak selalu meningkatkan kadar karotenoid, tetapi juga dapat berperan

dalam menjaga kestabilannya melalui regulasi mekanisme antioksidan dan perlindungan fisiologis tanaman.

4.10. *Water Use Efficiency*

Berdasarkan hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan cekaman kekeringan berpengaruh nyata pada parameter *water use efficiency*. Perlakuan konsentrasi biostimulan ekstrak rumput laut merah dan interaksi antara cekaman kekeringan dan konsentrasi biostimulan ekstrak rumput laut merah tidak memberikan pengaruh nyata pada parameter *water use efficiency* (Lampiran 20.). Hasil uji lanjut *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) *water use efficiency* disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. *Water Use Efficiency* Tanaman Bawang Merah

Cekaman Kekeringan	Konsentrasi Biostimulan Ekstrak Rumput Laut Merah				Rata - Rata
	0%	1%	2%	3%	
	-----(kg/m^3)-----				
80% KL	0,12	0,15	0,16	0,13	0,14 ^b
40% KL	0,28	0,31	0,33	0,24	0,29 ^a
Rata – Rata	0,20	0,23	0,25	0,18	

KL = Kapasitas Lapang; Superskrip berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan nyata ($P < 0,05$).

Berdasarkan Tabel 9 dapat diketahui bahwa hasil uji lanjut DMRT 5% perlakuan cekaman kekeringan berbeda nyata antar taraf perlakuan pada parameter *water use efficiency* (WUE). Nilai WUE pada taraf 40% KL lebih tinggi dan berbeda nyata dibandingkan 80% KL, yaitu $0,29 \text{ kg/m}^3$ dan $0,14 \text{ kg/m}^3$. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pada kondisi cekaman kekeringan tanaman mampu menggunakan air secara lebih efisien. Hal ini didukung oleh Zhang *et al.* (2024) yang menyatakan bahwa pada kondisi kering tanaman cenderung meningkatkan

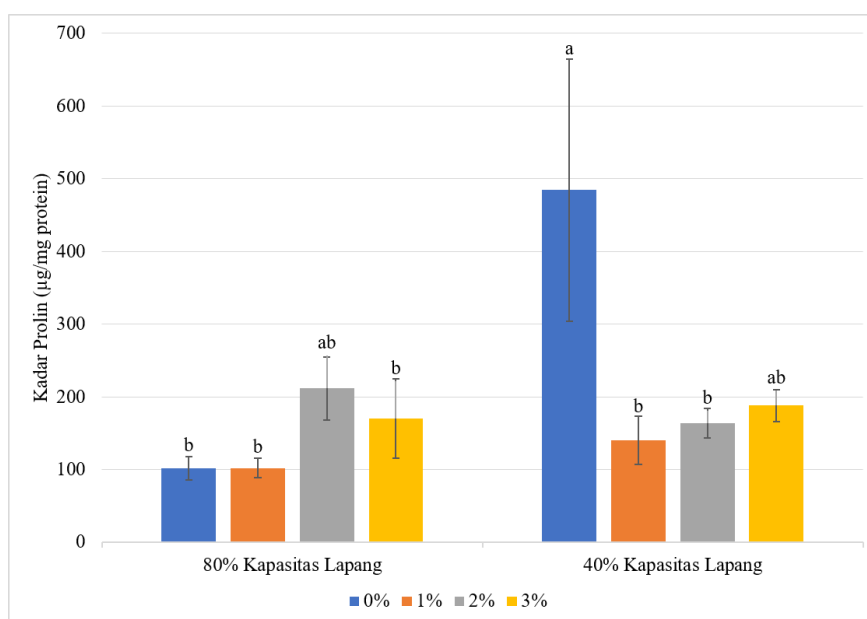
efisiensi penggunaan air sebagai bentuk adaptasi terhadap keterbatasan air melalui optimalisasi pemanfaatan air. Peningkatan WUE terjadi karena jumlah air yang digunakan lebih sedikit. Hal ini sejalan dengan Al-Salman *et al.* (2024) yang menyatakan bahwa peningkatan WUE terjadi ketika tanaman tetap mampu mempertahankan fotosintesis dan biomassa meskipun penggunaan air menurun akibat cekaman air.

Perlakuan konsentrasi biostimulan ekstrak rumput laut merah tidak berbeda nyata antar taraf perlakuan pada parameter WUE. Hal ini karena konsentrasi biostimulan yang diberikan belum optimal dalam meningkatkan efisiensi penggunaan air tanaman. Penelitian oleh Islam *et al.* (2025) melaporkan bahwa aplikasi ekstrak rumput laut konsentrasi 5% mampu meningkatkan WUE melalui perbaikan performa fisiologis tanaman meskipun penggunaan air dikurangi sebesar 30%. Nilai WUE pada penelitian ini lebih dipengaruhi oleh jumlah air yang digunakan dibandingkan pemberian biostimulan. Jumlah air yang digunakan pada perlakuan 80% KL sebesar 7772 ml, sedangkan pada 40% KL sebesar 3013 ml. Menurut Hoover *et al.* (2023), *water use efficiency* merupakan rasio antara biomassa yang dihasilkan dengan jumlah air yang digunakan, sehingga penggunaan air yang lebih sedikit dengan biomassa yang tetap terjaga akan meningkatkan nilai WUE.

4.11. Kadar Prolin

Berdasarkan hasil analisis ragam menunjukkan bahwa interaksi antara cekaman kekeringan dan konsentrasi biostimulan ekstrak rumput laut merah

memberikan pengaruh nyata pada parameter kadar prolin (Lampiran 22.). Hasil uji lanjut *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) parameter kadar prolin disajikan pada Ilustrasi 12.



Ilustrasi 12. Grafik Interaksi Kadar Prolin Perlakuan Cekaman Kekeringan dan Konsentrasi Biostimulan Ekstrak Rumput Laut Merah

Berdasarkan Ilustrasi 12 dapat diketahui bahwa hasil uji lanjut DMRT 5% interaksi antara cekaman kekeringan dan konsentrasi biostimulan ekstrak rumput laut merah berbeda nyata pada parameter kadar prolin. Taraf cekaman kekeringan 80% KL pada taraf konsentrasi biostimulan 0%, 1%, 2%, dan 3% tidak berbeda nyata satu sama lain. Hal tersebut karena pada taraf 80% KL belum menyebabkan cekaman yang cukup berat sehingga akumulasi prolin tanaman masih relatif rendah dan pemberian biostimulan belum menunjukkan penurunan kadar prolin secara nyata. Menurut Kijowska-Oberc *et al.* (2023), prolin merupakan senyawa osmoprotektan yang terakumulasi sebagai respons tanaman terhadap cekaman kekeringan dan dapat digunakan sebagai indikator tingkat stres tanaman. Cekaman kekeringan meningkatkan akumulasi ABA dan ROS yang menginduksi ekspresi

gen *pyrroline-5-carboxylate synthetase* (P5CS), sehingga glutamat dikonversi menjadi *glutamate semialdehyde* (GSA) dan *pyrroline-5-carboxylate* (P5C), yang selanjutnya direduksi oleh enzim *pyrroline-5-carboxylate reductase* (P5CR) menjadi prolin. Akumulasi prolin berperan sebagai osmoprotektan yang membantu menjaga keseimbangan osmotik sel, menstabilkan membran dan protein, serta mengurangi kerusakan oksidatif akibat ROS (Meena *et al.*, 2019).

Perlakuan cekaman kekeringan taraf 40% KL pada konsentrasi biostimulan 0% berbeda nyata dengan konsentrasi biostimulan 1% dan 2%, sedangkan konsentrasi biostimulan 3% tidak berbeda nyata dengan taraf konsentrasi lainnya. Kadar prolin tertinggi dihasilkan oleh konsentrasi biostimulan 0% yaitu 484,56 µg/mg protein, sedangkan pada konsentrasi biostimulan 1% kadar prolin menurun menjadi 139,84 µg/mg protein. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kandungan biostimulan ekstrak rumput laut merah cenderung dapat menurunkan kadar prolin pada tingkat cekaman 40% KL. Hal ini sejalan dengan penelitian Fozi *et al.* (2024) yang melaporkan bahwa kandungan hormon pertumbuhan, asam amino, vitamin, dan antioksidan pada ekstrak rumput laut mampu menekan akumulasi prolin sekitar 15% pada kondisi cekaman kekeringan. Konsentrasi biostimulan 1% tidak berbeda nyata dengan konsentrasi biostimulan 2% dan keduanya menunjukkan kadar prolin yang lebih rendah dibandingkan konsentrasi biostimulan 0%. Sejalan dengan penelitian Ali *et al.* (2022) bahwa aplikasi ekstrak rumput laut 2% dapat meningkatkan toleransi tanaman terhadap defisit air dengan membantu mempertahankan pigmen fotosintesis dan senyawa osmoprotektan selama kondisi cekaman.

4.12. Kadar Malondialdehyde

Berdasarkan hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan cekaman kekeringan dan perlakuan konsentrasi biostimulan ekstrak rumput laut merah berpengaruh nyata pada parameter kadar malondialdehyde. Interaksi antara cekaman kekeringan dan konsentrasi biostimulan ekstrak rumput laut merah tidak memberikan pengaruh nyata pada parameter kadar malondialdehyde (Lampiran 24.). Hasil uji lanjut *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) parameter kadar malondialdehyde disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10. Kadar Malondialdehyde Tanaman Bawang Merah

Cekaman Kekeringan	Konsentrasi Biostimulan Ekstrak Rumput Laut Merah				Rata - Rata
	0%	1%	2%	3%	
	------(nmol/mg protein)-----				
80% KL	23,66	11,04	22,41	12,40	17,38 ^b
40% KL	32,49	14,08	17,81	27,99	23,09 ^a
Rata – Rata	28,07 ^a	12,56 ^b	20,11 ^{ab}	20,19 ^{ab}	

KL = Kapasitas Lapang; Superskrip berbeda pada kolom atau baris yang sama menunjukkan perbedaan nyata ($P < 0,05$).

Berdasarkan Tabel 10 menunjukkan bahwa hasil uji lanjut DMRT 5% perlakuan cekaman kekeringan berbeda nyata antar taraf perlakuan pada parameter kadar malondialdehyde (MDA). Perlakuan 80% KL berbeda nyata dengan 40% KL, dengan rata-rata kadar MDA masing-masing sebesar 17,38 nmol/mg protein dan 23,09 nmol/mg protein. Menurut Zhou *et al.* (2022), kandungan MDA meningkat seiring meningkatnya tingkat dan lama cekaman kekeringan sehingga MDA digunakan sebagai indikator kerusakan oksidatif pada tanaman. Peningkatan MDA terjadi karena cekaman kekeringan memicu akumulasi *reactive oxygen species* (ROS) dalam sel tanaman. Menurut Morales dan Munné-Bosch (2019), akumulasi

ROS akibat cekaman kekeringan menyerang *polyunsaturated fatty acids* (PUFAs) pada membran sel sehingga memicu peroksidasi lipid. Proses ini menghasilkan *lipid peroxyl radicals* yang kemudian membentuk *lipid hydroperoxides* (LOOH). LOOH bersifat tidak stabil, senyawa tersebut mengalami degradasi lebih lanjut dan menghasilkan berbagai produk oksidasi sekunder, termasuk MDA sebagai produk akhir peroksidasi lipid.

Perlakuan konsentrasi biostimulan ekstrak rumput laut merah juga berbeda nyata antar taraf perlakuan pada parameter kadar malondialdehyde. Konsentrasi biostimulan 1% menghasilkan MDA terendah yaitu 12,56 nmol/mg protein dan berbeda nyata dengan konsentrasi biostimulan 0% yang menghasilkan MDA tertinggi yaitu 28,07 nmol/mg protein, sedangkan konsentrasi biostimulan 2% dan 3% tidak berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pemberian biostimulan ekstrak rumput laut merah mampu menekan peningkatan kadar MDA pada tanaman bawang merah. Menurut El Boukhari *et al.* (2020), ekstrak rumput laut mengandung berbagai senyawa bioaktif seperti polisakarida, mineral, vitamin, antioksidan, pigmen, dan hormon tumbuh yang berperan dalam meningkatkan toleransi tanaman terhadap stres. Senyawa tersebut mampu menekan akumulasi *reactive oxygen species* (ROS) dalam sel tanaman. Hal ini didukung oleh Shukla *et al.* (2024) yang menyatakan bahwa biostimulan berbahan rumput laut merah mampu menurunkan akumulasi ROS melalui penekanan peroksidasi lipid pada tanaman sehingga pembentukan MDA menjadi lebih rendah.

4.13. Tinggi Tanaman

Berdasarkan hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan konsentrasi biostimulan ekstrak rumput laut merah berpengaruh nyata pada parameter tinggi tanaman. Perlakuan cekaman kekeringan dan interaksi antara cekaman kekeringan dan konsentrasi biostimulan ekstrak rumput laut merah tidak memberikan pengaruh nyata pada parameter tinggi tanaman (Lampiran 25.). Hasil uji lanjut *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) parameter tinggi tanaman disajikan pada Tabel 11.

Tabel 11. Tinggi Tanaman Tanaman Bawang Merah

Cekaman Kekeringan	Konsentrasi Biostimulan Ekstrak Rumput Laut Merah				Rata - Rata
	0%	1%	2%	3%	
	------(cm)-----				
80% KL	36,50	40,19	38,94	37,63	38,31
40% KL	36,40	38,48	37,90	36,71	37,37
Rata – Rata	36,45 ^b	39,33 ^a	38,42 ^{ab}	37,17 ^{ab}	

KL = Kapasitas Lapang; Superskrip berbeda pada baris yang sama menunjukkan perbedaan nyata ($P < 0,05$).

Berdasarkan Tabel 11 dapat diketahui bahwa hasil uji lanjut DMRT 5% perlakuan konsentrasi biostimulan ekstrak rumput laut merah berbeda nyata antar taraf perlakuan pada parameter tinggi tanaman. Konsentrasi biostimulan 1% menghasilkan tinggi tanaman tertinggi dan berbeda nyata dibandingkan konsentrasi biostimulan 0%, sedangkan konsentrasi biostimulan 2% dan 3% tidak berbeda nyata dengan kedua taraf konsentrasi tersebut. Peningkatan tinggi tanaman berkaitan dengan meningkatnya aktivitas fisiologis tanaman sehingga proses pertumbuhan berlangsung lebih optimal. Hal ini didukung oleh Yu *et al.* (2025) yang menyatakan bahwa hormon pertumbuhan seperti giberelin berperan dalam merangsang pembelahan dan pemanjangan sel sehingga pertumbuhan batang dan

jaringan tanaman meningkat. Konsentrasi biostimulan 1% merupakan dosis yang paling sesuai untuk mendukung pertumbuhan tinggi tanaman bawang merah. Hal ini didukung oleh Huda *et al.* (2023) yang menyatakan bahwa peningkatan pertumbuhan tanaman berkaitan dengan kandungan zat pengatur tumbuh dan senyawa bioaktif pada ekstrak rumput laut merah, seperti auksin, giberelin, sitokinin, vitamin, asam amino, dan unsur hara mikro yang dapat meningkatkan aktivitas fisiologis tanaman serta mendukung pembelahan dan pemanjangan sel.

Perlakuan cekaman kekeringan tidak berbeda nyata antar taraf perlakuan pada parameter tinggi tanaman. Nilai tinggi tanaman yang relatif sama menunjukkan bahwa tanaman masih mampu mempertahankan pertumbuhan melalui proses adaptasi. Hal ini sesuai dengan pendapat Lehrer dan Hawkins (2023) bahwa tanaman yang mengalami cekaman kekeringan melakukan penyesuaian morfologis berupa penghambatan pertumbuhan vegetatif serta penyesuaian fisiologis melalui pengaturan transpirasi dan penggunaan air untuk mempertahankan pertumbuhan selama kondisi stres. Taraf cekaman kekeringan yang diberikan pada penelitian ini belum cukup mempengaruhi kondisi tanaman secara signifikan. Penelitian oleh Lu *et al.* (2025) melaporkan bahwa cekaman kekeringan pada kadar air relatif tanah $20 \pm 5\%$ menyebabkan penurunan tinggi tanaman sebesar 81,20% dibandingkan kontrol.

4.14. Jumlah Daun

Berdasarkan hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan cekaman kekeringan dan perlakuan konsentrasi biostimulan ekstrak rumput laut merah

berpengaruh nyata pada parameter jumlah daun. Interaksi antara cekaman kekeringan dan konsentrasi biostimulan ekstrak rumput laut merah tidak memberikan pengaruh nyata pada parameter jumlah daun (Lampiran 26). Hasil uji lanjut *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) parameter jumlah daun disajikan pada Tabel 12.

Tabel 12. Jumlah Daun Tanaman Bawang Merah

Cekaman Kekeringan	Konsentrasi Biostimulan Ekstrak Rumput Laut Merah				Rata - Rata
	0%	1%	2%	3%	
	------(helai)-----				
80% KL	17,40	24,58	23,63	19,69	21,32 ^a
40% KL	16,88	20,33	18,83	16,96	18,25 ^b
Rata – Rata	17,14 ^b	22,46 ^a	21,23 ^a	18,32 ^b	

KL = Kapasitas Lapang; Superskrip berbeda pada kolom atau baris yang sama menunjukkan perbedaan nyata ($P < 0,05$).

Berdasarkan Tabel 12 menunjukkan bahwa hasil uji lanjut DMRT 5% perlakuan cekaman kekeringan berbeda nyata antar taraf perlakuan pada parameter jumlah daun. Taraf 80% KL menghasilkan jumlah daun yang lebih tinggi dan berbeda nyata dibandingkan taraf 40% KL. Menurut Wang *et al.* (2024), daun merupakan organ utama fotosintesis dan sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan terutama cekaman kekeringan, sehingga kekurangan air dapat menghambat pertumbuhan vegetatif tanaman termasuk pembentukan daun. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah daun pada taraf 40% KL lebih rendah dibandingkan 80% KL, meskipun masih berada dalam kisaran normal pertumbuhan bawang merah, yaitu 14-50 helai (Lampiran 2). Menurut Milovančević *et al.* (2024), cekaman kekeringan menurunkan tekanan turgor sel sehingga pembelahan dan pemanjangan sel terhambat, stomata menutup, dan fotosintesis menurun yang akhirnya menyebabkan jumlah daun menjadi lebih sedikit.

Perlakuan konsentrasi biostimulan ekstrak rumput laut merah juga berbeda nyata antar taraf perlakuan pada parameter jumlah daun. Konsentrasi biostimulan 1% menghasilkan jumlah daun tertinggi, diikuti konsentrasi biostimulan 2% yang berbeda nyata dibandingkan konsentrasi biostimulan 0% dan 3%. Menurut Vasantharaja *et al.* (2019), ekstrak rumput laut merah mengandung makro dan mikronutrien, vitamin, serta hormon tumbuh seperti auksin dan sitokinin yang berperan dalam metabolisme sel dan mendukung pertumbuhan vegetatif tanaman, termasuk pembentukan daun. Konsentrasi biostimulan 1% merupakan konsentrasi optimal untuk meningkatkan jumlah daun. Hal ini didukung oleh Shukla *et al.* (2024) yang menyatakan bahwa aplikasi biostimulan ekstrak rumput laut merah mampu meningkatkan jumlah dan laju munculnya daun melalui peningkatan kandungan klorofil, aktivitas fotosintesis, serta penyerapan nitrogen sehingga pertumbuhan daun menjadi lebih optimal.

4.15. Luas Daun

Berdasarkan hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan cekaman kekeringan dan perlakuan konsentrasi biostimulan ekstrak rumput laut merah memberikan pengaruh nyata pada parameter luas daun. Interaksi antara cekaman kekeringan dan konsentrasi biostimulan ekstrak rumput laut merah tidak memberikan pengaruh nyata pada parameter luas daun (Lampiran 28.). Hasil uji lanjut *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) parameter luas daun disajikan pada Tabel 13.

Tabel 13. Luas Daun Tanaman Bawang Merah

Cekaman Kekeringan	Konsentrasi Biostimulan Ekstrak Rumput Laut Merah				Rata - Rata
	0%	1%	2%	3%	
	------(cm ²)-----				
80% KL	251,97	491,42	558,38	365,97	416,94 ^a
40% KL	256,47	290,26	269,16	172,04	246,98 ^b
Rata – Rata	254,22 ^b	390,84 ^a	413,77 ^a	269,00 ^b	

KL = Kapasitas Lapang; Superskrip berbeda pada kolom atau baris yang sama menunjukkan perbedaan nyata ($P < 0,05$).

Berdasarkan Tabel 13 menunjukkan hasil uji lanjut DMRT 5% perlakuan cekaman kekeringan berbeda nyata antar taraf perlakuan pada parameter luas daun. Taraf 80% KL menghasilkan luas daun lebih tinggi dan berbeda nyata dibandingkan 40% KL. Menurut Soltys-Kalina *et al.* (2016), cekaman kekeringan dapat mengganggu status air serta berbagai proses fisiologis dan biokimia tanaman sehingga pertumbuhan vegetatif menjadi terhambat. Gangguan status air tersebut menyebabkan menurunnya tekanan turgor sel sehingga proses pembelahan dan pembesaran sel daun tidak berlangsung optimal. Cekaman kekeringan taraf 40% KL menurunkan luas daun sebesar $\pm 40,77\%$ dibandingkan perlakuan 80% KL. Penelitian oleh Künzi *et al.* (2025) menyatakan bahwa tanaman yang mengalami cekaman kekeringan akan melakukan mekanisme *dehydration avoidance* dengan mengurangi jaringan hijau untuk menekan kehilangan air melalui transpirasi. Kondisi tersebut menyebabkan perkembangan luas daun menjadi tidak optimal.

Perlakuan konsentrasi biostimulan ekstrak rumput laut merah berbeda nyata antar taraf perlakuan pada parameter luas daun. Konsentrasi biostimulan 2% menghasilkan luas daun tertinggi disusul oleh konsentrasi biostimulan 1% dan keduanya berbeda nyata terhadap konsentrasi biostimulan 0% dan 3%. Peningkatan luas daun tersebut berkaitan dengan kandungan senyawa bioaktif dan hormon

pertumbuhan alami pada ekstrak rumput laut merah. Hal ini didukung oleh Huda *et al.* (2023) bahwa ekstrak rumput laut merah mengandung unsur hara mikro dan makro serta hormon pertumbuhan alami yang mampu meningkatkan kandungan klorofil, laju fotosintesis, kapasitas penyerapan air, dan pertumbuhan vegetatif tanaman, termasuk peningkatan luas daun. Peningkatan kandungan klorofil memungkinkan tanaman menyerap cahaya lebih optimal sehingga produksi fotosintat untuk perkembangan jaringan daun meningkat. Sejalan dengan penelitian oleh Yao *et al.* (2020) bahwa aplikasi ekstrak rumput laut dapat meningkatkan kapasitas fotosintesis dan luas permukaan daun yang berkontribusi terhadap peningkatan pertumbuhan tanaman.

4.16. Bobot Segar Biomassa Tanaman

Berdasarkan hasil analisis ragam menunjukkan perlakuan cekaman kekeringan berpengaruh nyata pada parameter bobot segar biomassa tanaman. Perlakuan konsentrasi biostimulan ekstrak rumput laut merah dan interaksi keduanya tidak berpengaruh nyata pada parameter bobot segar biomassa tanaman (Lampiran 30.). Hasil uji lanjut *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) parameter bobot segar biomassa tanaman disajikan pada Tabel 14.

Tabel 14. Bobot Segar Biomassa Tanaman Bawang Merah

Cekaman Kekeringan	Konsentrasi Biostimulan Ekstrak Rumput Laut Merah				Rata - Rata
	0%	1%	2%	3%	
	-----(g)-----				
80% KL	12,34	14,31	15,55	12,34	13,63 ^a
40% KL	8,47	9,33	9,79	8,28	8,96 ^b
Rata – Rata	10,40	11,82	12,67	10,31	

KL = Kapasitas Lapang; Superskrip berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan nyata ($P < 0,05$).

Berdasarkan Tabel 14 dapat diketahui bahwa hasil uji lanjut DMRT 5% perlakuan cekaman kekeringan berbeda nyata antar taraf perlakuan pada parameter bobot segar biomassa tanaman. Cekaman kekeringan pada taraf 80% KL menghasilkan bobot segar lebih tinggi dan berbeda nyata dibandingkan taraf 40% KL. Menurut Seleiman *et al.* (2021), ketersediaan air yang cukup mampu menjaga tekanan turgor sel, mendukung proses pembelahan dan pembesaran sel, mempertahankan aktivitas fotosintesis, serta membantu penyerapan dan transportasi unsur hara sehingga pertumbuhan dan pembentukan biomassa tanaman berlangsung optimal. Kondisi 40% KL menyebabkan tanaman mengalami defisit air yang memicu penutupan stomata untuk mengurangi kehilangan air melalui transpirasi sehingga proses fisiologis tanaman menjadi terganggu. Hal ini sesuai dengan pendapat Sanusi *et al.* (2025) bahwa cekaman kekeringan menyebabkan penurunan laju fotosintesis, luas daun, transportasi material, dan pertumbuhan tanaman akibat terjadinya kekurangan air pada jaringan tanaman. Menurunnya proses fotosintesis dan pertumbuhan vegetatif tersebut menyebabkan akumulasi fotosintat dan pembentukan jaringan tanaman menjadi lebih rendah sehingga bobot segar biomassa tanaman juga mengalami penurunan.

Perlakuan biostimulan ekstrak rumput laut merah tidak berbeda nyata antar taraf perlakuan pada bobot segar biomassa tanaman. Hal ini karena respons tanaman terhadap aplikasi biostimulan sangat dipengaruhi oleh konsentrasi yang diberikan sehingga efektivitas senyawa bioaktif dalam ekstrak rumput laut belum bekerja secara optimal. Menurut Li *et al.* (2026) bahwa efektivitas ekstrak rumput laut dalam meningkatkan pertumbuhan dan biomassa tanaman bersifat

concentration-dependent atau dipengaruhi oleh konsentrasi aplikasi. Konsentrasi yang diberikan pada penelitian ini belum cukup optimal untuk mempengaruhi bobot segar biomassa tanaman. Sejalan dengan penelitian Mannan *et al.* (2023) yang melaporkan bahwa pemberian ekstrak rumput laut merah konsentrasi 10% mampu meningkatkan *leaf fresh weight*, *stem fresh weight*, dan *total fresh weight* tanaman dibandingkan tanpa pemberian ekstrak rumput laut.

4.17. Bobot Kering Biomassa Tanaman

Berdasarkan hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan cekaman kekeringan serta perlakuan konsentrasi biostimulan ekstrak rumput laut merah tidak berpengaruh nyata pada parameter bobot kering biomassa tanaman. Interaksi antara cekaman kekeringan dan konsentrasi biostimulan ekstrak rumput laut merah juga tidak memberikan pengaruh nyata pada parameter bobot kering biomassa tanaman (Lampiran 32.). Hasil uji lanjut *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) parameter bobot kering biomassa tanaman disajikan pada Tabel 15.

Tabel 15. Bobot Kering Biomassa Tanaman Bawang Merah

Cekaman Kekeringan	Konsentrasi Biostimulan Ekstrak Rumput Laut Merah				Rata - Rata
	0%	1%	2%	3%	
	------(g)-----				
80% KL	0,93	1,16	1,25	1,01	1,08
40% KL	0,84	0,94	1,00	0,71	0,87
Rata – Rata	0,88	1,05	1,12	0,86	

KL = Kapasitas Lapang.

Berdasarkan Tabel 15 menunjukkan bahwa hasil uji lanjut DMRT 5% perlakuan cekaman kekeringan tidak berbeda nyata antar taraf perlakuan pada parameter bobot kering biomassa tanaman. Tingkat cekaman yang diberikan masih

berada dalam batas toleransi tanaman sehingga belum menyebabkan penurunan biomassa secara nyata. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa tanaman bawang merah masih mampu melakukan adaptasi fisiologis terhadap kondisi defisit air. Menurut Wach dan Skowron (2022), tanaman memiliki mekanisme toleransi terhadap cekaman kekeringan melalui pengaturan stomata, peningkatan efisiensi penggunaan air, serta *osmotic adjustment* untuk mempertahankan turgor sel dan proses metabolisme tanaman. Adaptasi terhadap cekaman juga melibatkan respons biokimia untuk mengurangi dampak kekeringan. Hal ini didukung oleh Amoah dan Seo (2021) yang menyatakan bahwa tanaman yang mengalami *drought stress* dapat meningkatkan akumulasi prolin, gula terlarut, serta aktivitas enzim antioksidan seperti APX, SOD, dan CAT untuk menjaga keseimbangan osmotik dan menekan kerusakan oksidatif akibat ROS, sehingga tanaman mampu mempertahankan toleransi terhadap kondisi cekaman kekeringan.

Perlakuan konsentrasi biostimulan ekstrak rumput laut merah juga tidak berbeda nyata antar taraf perlakuan pada parameter bobot kering biomassa tanaman. Hal ini karena konsentrasi yang diberikan belum cukup untuk mengoptimalkan kandungan senyawa bioaktif yang berperan dalam akumulasi biomassa tanaman. Hasil ini sejalan dengan penelitian Bayat *et al.* (2025) yang melaporkan bahwa aplikasi ekstrak rumput laut hanya meningkatkan berat kering total dari 28,83 g pada kontrol menjadi 29,81 g pada perlakuan ekstrak rumput laut, sehingga tidak menunjukkan perbedaan nyata dibandingkan kontrol. Penggunaan konsentrasi yang tepat diperlukan untuk memperoleh bobot kering biomassa tanaman yang lebih tinggi. Konsentrasi 1-3% yang diberikan pada penelitian ini masih belum cukup

untuk meningkatkan bobot kering biomassa tanaman secara signifikan. Menurut Li *et al.* (2026), aplikasi ekstrak rumput laut pada konsentrasi 10-100% memberikan peningkatan tertinggi terhadap *plant dry weight*, namun konsentrasi 2-10% dinilai lebih optimal dan stabil secara keseluruhan karena mampu menyeimbangkan peningkatan pertumbuhan, hasil, kualitas, dan adaptasi fisiologis tanaman.

4.18. Rasio Akar Tajuk

Berdasarkan hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan cekaman kekeringan serta perlakuan konsentrasi biostimulan ekstrak rumput laut merah tidak berpengaruh nyata pada parameter rasio akar tajuk. Interaksi antara cekaman kekeringan dan konsentrasi biostimulan ekstrak rumput laut merah juga tidak memberikan pengaruh nyata pada parameter rasio akar tajuk (Lampiran 34.). Hasil uji lanjut *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) parameter rasio akar tajuk disajikan pada Tabel 16.

Tabel 16. Rasio Akar Tajuk Tanaman Bawang Merah

Cekaman Kekeringan	Konsentrasi Biostimulan Ekstrak Rumput Laut Merah				Rata - Rata
	0%	1%	2%	3%	
80% KL	0,16	0,19	0,17	0,16	0,17
40% KL	0,15	0,08	0,07	0,14	0,11
Rata – Rata	0,15	0,13	0,12	0,15	

KL = Kapasitas Lapang.

Berdasarkan Tabel 16 dapat diketahui bahwa hasil uji lanjut DMRT 5% perlakuan cekaman kekeringan tidak berbeda nyata antar taraf perlakuan pada parameter rasio akar tajuk. Tanaman yang mengalami cekaman kekeringan umumnya memiliki rasio akar tajuk yang lebih tinggi karena tanaman cenderung

meningkatkan pertumbuhan dan distribusi akar untuk memperoleh air dari lapisan tanah yang lebih dalam. Hal ini didukung oleh Kang *et al.* (2022) yang menyatakan bahwa tanaman yang mengalami *drought stress* dapat meningkatkan kedalaman akar, panjang akar, serta distribusi sistem perakaran sebagai bentuk adaptasi untuk meningkatkan penyerapan air pada kondisi defisit air. Tidak berbeda nyata antara taraf cekaman kekeringan pada parameter rasio akar tajuk pada penelitian ini diduga karena tingkat cekaman yang diberikan masih berada dalam batas toleransi tanaman bawang merah sehingga tanaman masih mampu mempertahankan keseimbangan pertumbuhan akar dan tajuk. Menurut Kou *et al.* (2022) bahwa tanaman dapat melakukan adaptasi fisiologis dan morfologis melalui *osmotic adjustment*, pengaturan hormon ABA, serta modifikasi arsitektur akar untuk mempertahankan pertumbuhan dan penyerapan air.

Perlakuan konsentrasi biostimulan ekstrak rumput laut merah tidak berbeda nyata antar taraf perlakuan pada parameter rasio akar tajuk. Hal ini disebabkan oleh konsentrasi biostimulan yang diberikan belum optimal untuk mempengaruhi pertumbuhan akar secara lebih dominan dibandingkan tajuk. Ekstrak rumput laut merah diketahui mengandung hormon pertumbuhan, mineral, dan senyawa bioaktif yang berperan dalam stimulasi pertumbuhan tanaman. Penelitian oleh Munisamy dan Ramamoorthy (2024) melaporkan bahwa aplikasi biostimulan rumput laut merah mampu meningkatkan panjang dan volume akar tanaman. Peningkatan pertumbuhan akar yang terjadi pada penelitian ini masih seimbang dengan pertumbuhan tajuk sehingga belum menyebabkan perubahan rasio akar tajuk secara signifikan. Menurut Mašková dan Herben (2018), rasio akar tajuk mencerminkan

pola alokasi biomassa tanaman antara organ bawah tanah dan organ atas tanaman sebagai bentuk respons terhadap ketersediaan sumber daya lingkungan.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa cekaman kekeringan pada taraf 40% KL menurunkan jumlah daun, luas daun, dan bobot segar biomassa tanaman, sekaligus meningkatkan kadar prolin, kadar MDA, dan *water use efficiency*. Perlakuan konsentrasi biostimulan ekstrak rumput laut merah memberikan pengaruh berbeda tergantung taraf konsentrasi. Konsentrasi biostimulan 3% meningkatkan lebar bukaan stomata, konsentrasi biostimulan 2% meningkatkan luas daun, dan konsentrasi biostimulan 1% meningkatkan tinggi tanaman, jumlah daun, serta menurunkan kadar MDA. Interaksi cekaman kekeringan dan konsentrasi biostimulan ekstrak rumput laut merah terjadi pada kadar prolin. Kadar prolin terendah terdapat pada 80% KL dengan konsentrasi biostimulan 0%, sedangkan pada 40% KL dengan konsentrasi biostimulan 1% mampu menurunkan kadar prolin dibanding tanpa biostimulan.

5.2. Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah melakukan pengkajian konsentrasi biostimulan ekstrak rumput laut merah yang lebih variatif dan tingkat cekaman kekeringan yang berbeda untuk mengetahui sejauh mana bawang merah dapat menoleransi stres. Faktor lingkungan dan teknik budidaya juga perlu diperhatikan guna memperoleh strategi budidaya yang lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, M., J. Anwar, M. Zafar-ul-Hye, R. Iqbal Khan, M. Saleem, A. A. Rahi, S. Denmark, and R. Datta. 2020. Effect of seaweed extract on productivity and quality attributes of four onion cultivars. *Horticulturae*, 6 (2) : 1-14.
- Alfiani, C. U., B. Syah, E. Azizah, dan P. Soedomo. 2021. Identifikasi karakter morfologi dan agronomi beberapa varietas bawang merah (*Allium ascalonicum* L.) di dataran tinggi. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 7 (2) : 436-446.
- Ali, A. H., E. M. Said, and Z. A. Abdelgawad. 2022. The role of seaweed extract on improvement drought tolerance of wheat revealed by osmoprotectants and DNA (cpDNA) markers. *Brazilian Journal of Botany*, 45 (3) : 857-867.
- Ali, O., A. Ramsubhag, and J. Jayaraman. 2021. Biostimulant properties of seaweed extracts in plants: Implications towards sustainable crop production. *Plants*, 10 (3) : 1-27.
- Al-Salman, Y., F. J. Cano, E. Mace, D. Jordan, M. Groszmann, and O. Ghannoum. 2024. High water use efficiency due to maintenance of photosynthetic capacity in sorghum under water stress. *Journal of Experimental Botany*, 75 (21) : 6778-6795.
- Al-Zubaidy, N. W. Q. 2024. Green onion (*Allium cepa* L.) response to humic acid and seaweed extract on growth and yield traits. *Sabrao Journal of Breeding & Genetics*, 56 (6) : 2571-2576.
- Amoah, J. N. and Y. W. Seo. 2021. Effect of progressive drought stress on physio-biochemical responses and gene expression patterns in wheat. *3 Biotech*, 11 (10) : 1-18.
- Angelaki, A. and E. E. Golia. 2025. Impact of different irrigation & trace metals treatments on onion (*Allium cepa* L.) plant growth cultivated in rural and urban soils. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, 10 (3) : 1657-1670.
- Anggara, F., G. Srihidayati, dan M. Mutmainnah. 2023. Efektivitas kompos kotoran ayam ras dan aplikasi pgpr rumput gajah terhadap pertumbuhan dan produksi bawang merah (*Allium ascalonicum* L.). *Wanatani*, 3 (2) : 93-109.
- Arinaitwe, U., D. N. Yabwalo, and A. Hangamaisho. 2025. Unlocking the Potential of Biostimulants: A Review of Classification, Mode of Action, Formulations, Efficacy, Mechanisms, and Recommendations for Sustainable Intensification. *International Journal of Plant Biology*, 16 (4) : 1-21.
- Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiol*, 24: 1-15.

- Aryani, N. S., E. Santosa, S. Zaman, dan D. P. Hapsari. 2024. Kebutuhan air irigasi empat varietas bawang merah (*Allium cepa* L.) pada musim kering. Jurnal Hortikultura Indonesia (JHI), 15 (2) : 77-83.
- Aslam, M. M., M. Waseem, B. H. Jakada, E. J. Okal, Z. Lei, H. S. A. Saqib, Y. Wei, X. Weifeng, and Q. Zhang. 2022. Mechanisms of abscisic acid-mediated drought stress responses in plants. International journal of molecular sciences, 23 (3) : 1-21.
- Badan Pusat Statistik. 2019. Statistik Tanaman Sayuran dan Buah-buahan Semusim Indonesia 2018. Badan Pusat Statistik. Jakarta.
- Badan Pusat Statistik. 2022. Statistik Hortikultura 2021. Badan Pusat Statistik. Jakarta.
- Badan Pusat Statistik. 2024. Statistik Hortikultura 2023. Badan Pusat Statistik. Jakarta.
- Bagaskara, K., A. Mahmudi, dan Y. A. Pranoto. 2023. Sistem kontrol dan monitoring pada tanaman bawang merah berbasis Iot. Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika), 7 (1) : 873-880.
- Banakar, S. N., M. K. PrasannaKumar, H. B. Mahesh, P. B. Parivallal, M. E. Puneeth, C. Gautam, and S. S. Narayan. 2022. Red-seaweed biostimulants differentially alleviate the impact of fungicidal stress in rice (*Oryza sativa* L.). Scientific Reports, 12 (1) : 1-12.
- Bayat, H., M. J. Vahidi, A. Radan, and Z. Parsa. 2025. Impact of seaweed extract and biochar on the morphological and physiological traits of *Petunia hybrida* L. Agriculturae Conspectus Scientificus, 90 (3) : 211-217.
- Blum, A. and R. Tuberosa. 2018. Dehydration survival of crop plants and its measurement. Journal of Experimental Botany, 69 (5) : 975-981.
- Bucher, S. F. and S. Rosbakh. 2021. Foliar summer frost resistance measured via electrolyte leakage approach as related to plant distribution, community composition and plant traits. Functional Ecology, 35 (3) : 590-600.
- Chávez, C., I. Limón-Jiménez, B. Espinoza-Alcántara, J. A. López-Hernández, E. Bárcenas-Ferruzca, and J. Trejo-Alonso. 2020. Water-use efficiency and productivity improvements in surface irrigation systems. Agronomy, 10 (11) : 1-12.
- Chen, T. and B. Zhang. 2016. Measurements of proline and malondialdehyde content and antioxidant enzyme activities in leaves of drought stressed cotton. Bio-protocol, 6 (17) : 1-14.
- Christiaens, A., E. De Keyser., E. Pauwels, J. De Riek, B. Gobin, and M. Van Labeke. 2016. Suboptimal light conditions influence source-sink metabolism during flowering. Frontiers in Plant Science, 7 : 1-11.

- Cokrosudibyo, F. M., D. Dinarti, dan S. I. Aisyah. 2023. Pengaruh Giberelin (GA3) terhadap pertumbuhan dan komponen hasil bawang merah (*Allium cepa* var. aggregatum) Varietas Bima Brebes. Buletin Agrohorti, 11 (2) : 277-285.
- de Castro, T. A. V. T., D. F. de Oliveira Torchia, A. C. S. de Lima, S. de Abreu Lopes, R. E. Cantarino, N. F. Rodrigues, and A.C. García. 2024. Conversion of *Kappaphycus alvarezii* macroalgae biomass enriched with fulvic acid into a foliar biostimulant for plant (*Oryza sativa* L.) growth and stress protection. Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 11 (1) : 1-22.
- Dewi, S. M., Y. Yuwariah, W. A. Qosim, dan D. Ruswandi. 2019. Pengaruh cekaman kekeringan terhadap hasil dan sensitivitas tiga genotip jawawut. Kultivasi, 18 (3) : 933-941.
- Dwivedi, S. K., A. Arora, V. P. Singh, and G. P. Singh. 2018. Induction of water deficit tolerance in wheat due to exogenous application of plant growth regulators: membrane stability, water relations and photosynthesis. Photosynthetica, 56 (2) : 478-486.
- El Boukhari, M. E. M., M. Barakate, Y. Bouhia, and K. Lyamlouli. 2020. Trends in seaweed extract based biostimulants: Manufacturing process and beneficial effect on soil-plant systems. Plants, 9 (3) : 1-23.
- El-Beltagi, H. S., A. A. Mohamed, H. I. Mohamed, K. M. Ramadan, A. A. Barqawi, and A. T. Mansour. 2022. Phytochemical and potential properties of seaweeds and their recent applications: A review. Marine drugs, 20 (6) : 1-49.
- Fahad, S., A. A. Bajwa, U. Nazir, S. A. Anjum, A. Farooq, A. Zohaib, S. Sehrish, N. Wajid, A. Steve, S. Shah, Z. I. Muhammad, A. Hesham, W. Chao, W. Depeng, and J. Huang. 2017. Crop production under drought and heat stress: plant responses and management options. Frontiers in plant science, 8 : 1-16.
- Fattah, M. A., S. Mardiyati, dan F. Firmansyah. 2022. Pendapatan dan kelayakan usahatani bawang merah. J. Pemikiran Masyarakat Ilmiah Berwawasan Agribisnis. 8 (1) : 367-375.
- Fozi, V., H. Esmaeili, A. Alizadeh, G. Eghlima, and M. H. Mirjalili. 2024. The interaction effect of water deficit stress and seaweed extract on phytochemical characteristics and antioxidant activity of licorice (*Glycyrrhiza glabra* L.). Frontiers in Plant Science, 15 : 1-13.
- Franzoni, G., G. Cocetta, B. Prinsi, A. Ferrante, and L. Espen. 2022. Biostimulants on crops: Their impact under abiotic stress conditions. Horticulturae, 8 (3) : 1-20.
- Ghodke, P., K. Khandagale, A. Thangasamy, A. Kulkarni, N. Narwade, D. Shirsat, and M. Singh. 2020. Comparative transcriptome analyses in contrasting onion (*Allium cepa* L.) genotypes for drought stress. PLoS One, 15 (8) : 1-21.
- Ginting, T. H., J. Ginting, dan R. I. Damanik. 2024. Morfologi bawang merah (*Allium ascalonicum* L.) pada cekaman kekeringan terhadap aplikasi asam salisilat. Jurnal budidaya pertanian, 20 (1) : 90-98.

- González-Espíndola, L. Á., A. Pedroza-Sandoval, R. Trejo-Calzada, M. D. R. Jacobo-Salcedo, G. García de los Santos, and J. J. Quezada-Rivera. 2024. Relative water content, chlorophyll index, and photosynthetic pigments on *Lotus corniculatus* L. in response to water deficit. *Plants*, 13 (7) : 1-15.
- Han, S. K., J. M. Kwak, and X. Qi. 2021. Stomatal lineage control by developmental program and environmental cues. *Frontiers in Plant Science*, 12 : 1-15.
- Haridjaja, O., D. P. T. Baskoro, dan M. Setianingsih. 2013. Perbedaan nilai kadar air kapasitas lapang berdasarkan metode alhricks, drainase bebas, dan pressure plate pada berbagai tekstur tanah dan hubungannya dengan pertumbuhan bunga matahari (*Helianthus annuus* L.). *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*, 15 (2) : 52-59.
- Hariyanti, K. S., T. June, Y. Koesmaryono, R. Hidayat, dan A. Pramudia. 2019. Penentuan waktu tanam dan kebutuhan air tanaman padi, jagung, kedelai dan bawang merah di Provinsi Jawa Barat dan Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Tanah dan Iklim*, 43 (1) : 83-92.
- Hassani, R. N. And H. Karimi. 2016. The interrelationship between calcium and salicylic acid pulsing on vase life and flower opening of cut rose flower. In *Biological Forum—An International J* 8 (2) : 397-404.
- Hemon, A. F., N. K. Sukasni, and M. T. Fauzi. 2022. Yield and tolerance of several shallot varieties in sunlight deficit. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 8 : 46-52.
- Herwanda, R., W. E. Murdiono, dan Koesriharti. 2017) Aplikasi nitrogen dan pupuk daun terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman bawang merah (*Allium cepa* L. var. ascalonicum). *Jurnal Produksi Tanaman*, 5 (1) : 46-53.
- Hikmat, M., D. Hati, dan S. Sukarman. 2022. Kajian lahan kering berproduktivitas tinggi di Nusa Tenggara untuk pengembangan pertanian. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 16 (2) : 119-133.
- Hindersah, R., B. N. Fitriatin, M. R. Setiawati dan R. R. Risanti. 2025. Mikroba Tanah Sebagai Biostimulan untuk tanaman sayuran di Desa Karyawangi, Kecamatan Parongpong, Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat. *Agrikultura Masyarakat Tani*, 2 (2) : 73-81.
- Hoover, D. L., L. J. Abendroth, D. M. Browning, A. Saha, K. Snyder, P. Wagle, and R. L. Scott. 2023. Indicators of water use efficiency across diverse agroecosystems and spatiotemporal scales. *Science of the Total Environment*, 864 : 1-14.
- Huda, M. N., M. A. Mannan, M. N. Bari, S. M. Rafiquzzaman, and H. Higuchi. 2023. Red seaweed liquid fertilizer increases growth, chlorophyll and yield of mungbean (*Vigna radiata*). *Agronomy Research*, 21 : 291–305.
- Islam, M. R., H. M. Abdullah, M. F. Rahman, M. Islam, A. K. Tuhin, M. Ashiquzzaman, K. S. Islam and D. Geisseler. 2025. Mitigation of Water-

- Deficit Stress in Soybean by Seaweed Extract: The Integrated Approaches of UAV-Based Remote Sensing and a Field Trial. *Drones*, 9 (7) : 1-20.
- Juwanda, M. dan W. Wadli. 2019. Pengaruh jarak tanam dan pemberian dosis pupuk kandang sapi terhadap pertumbuhan dan hasil bawang merah (*allium ascalonicum* L.). *Agrin*, 22 (1) : 56-65.
- Kang, J., Y. Peng, and X. Xu. 2022. Crop root responses to drought stress: molecular mechanisms, nutrient regulations, and interactions with microorganisms in the rhizosphere. *International Journal of Molecular Sciences*, 23 (16) : 1-26.
- Karami, S., B. Shiran, and R. Ravash. 2025. Molecular investigation of how drought stress affects chlorophyll metabolism and photosynthesis in leaves of C3 and C4 plant species: A transcriptome meta-analysis. *Heliyon*, 11 (3) : 1-19.
- Khamis, G., E. A. Alsherif, M. H. Khalaf, S. M. Korany, D. A. Aldailami, A. S. Aloufi, and S. Selim. 2025. Drought stress differentially suppresses growth and triggers antioxidant and anthocyanin pathways in *Brassica oleracea* (C3) and *Echinochloa crusgallii* (C4). *BMC Plant Biology*, 25 (1) : 805-826
- Khan, A., X. Pan, U. Najeeb, D. K. Y. Tan, S. Fahad, R. Zahoor, and H. Luo. 2018. Coping with drought: stress and adaptive mechanisms, and management through cultural and molecular alternatives in cotton as vital constituents for plant stress resilience and fitness. *Biological research*, 51 : 1-17.
- Kijowska-Oberc, J., Ł. Dylewski, and E. Ratajczak. 2023. Proline concentrations in seedlings of woody plants change with drought stress duration and are mediated by seed characteristics: a meta-analysis. *Scientific Reports*, 13(1) : 1-10.
- Kou, X., W. Han, and J. Kang. 2022. Responses of root system architecture to water stress at multiple levels: A meta-analysis of trials under controlled conditions. *Frontiers in Plant Science*, 13 : 1-16.
- Künzi, Y., M. Zeiter, M. Fischer, and A. Stampfli. 2025. Rooting depth and specific leaf area modify the impact of experimental drought duration on temperate grassland species. *Journal of Ecology*, 113 (2) : 445-458.
- Lawson, T. and A. D. Leakey. 2024. Stomata: custodians of leaf gaseous exchange. *Journal of experimental botany*, 75 (21) : 6677-6682.
- Lee, Y. R., W. H. Lee, S. Y. Lee, J. Lee, M. S. Kim, M. Moon, G. W. Park, H. S. Kim, J. I. Kim, J. S. Lee, and S. Lee. 2022. Regulation of reactive oxygen species promotes growth and carotenoid production under autotrophic conditions in *Rhodobacter sphaeroides*. *Frontiers in Microbiology*, 13 : 1-13.
- Lehrer, M. A. and J. S. Hawkins. 2023. Plant height shapes hydraulic architecture but does not predict metaxylem area under drought in *Sorghum bicolor*. *Plant Direct*, 7 (5) : 1-10.

- Lestari, N. I. and D. U. Siswanti. 2024. Physiological and anatomical responses of red onion (*Allium cepa* L.) to drought stress after biofertilizer application. *Jurnal Biodjati*, 9 (2) : 359-372.
- Lestari, R. D. dan N. Winahyu. 2021. Pengaruh luas lahan, curahan tenaga kerja dan biaya produksi terhadap pendapatan usahatani bawang merah di Kabupaten Bojonegoro. *Journal Science Innovation and Technology (SINTECH)*, 2 (1) : 28-34.
- Li, D., P. Li, C. Zhang, L. Nie, J. Ma, Q. Li, and X. X. Wang. 2026. Meta-analysis of seaweed extracts as multifunctional biostimulants improving growth, yield, quality, and physiology in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Scientia Horticulturae*, 361: 1-10.
- Linnaeus, C. 1753. *Species plantarum*, ed. 1. Stockholm, Sweden: L. Salvius.
- Lu, X., Y. Yin, M. Yang, S. Zhang, Z. Niu, L. Wu, and C. Chen. 2025. Effects of drought stress on the growth and physiological characteristics of *Idesia polycarpa* maxim. *Horticulturae*, 11 (7) : 1-18.
- Lv, Y., L. Gu, R. Man, X. Liu, and J. Xu. 2024. Response of stomatal conductance, transpiration, and photosynthesis to light and CO₂ for rice leaves with different appearance days. *Frontiers in plant science*, 15 : 1-13.
- Mannan, M. A., A. Yasmin, U. Sarker, N. Bari, D. B. Dola, H. Higuchi, S. Ercisli, D. Ali and S. Alarifi. 2023. Biostimulant red seaweed (*Gracilaria tenuistipitata* var. *liui*) extracts spray improves yield and drought tolerance in soybean. *PeerJ*, 11 : 1-21.
- Mašková, T. and T. Herben. 2018. Root: shoot ratio in developing seedlings: How seedlings change their allocation in response to seed mass and ambient nutrient supply. *Ecology and evolution*, 8 (14) : 7143-7150.
- Meena, M., K. Divyanshu, S. Kumar, P. Swapnil, A. Zehra, V. Shukla, and R. S. Upadhyay. 2019. Regulation of L-proline biosynthesis, signal transduction, transport, accumulation and its vital role in plants during variable environmental conditions. *Heliyon*, 5 (12) : 1-20.
- Melo, P., C. Abreu, K. Bahcevandziev, G. Araujo, and L. Pereira. 2020. Biostimulant effect of marine macroalgae bioextract on pepper grown in greenhouse. *Applied Sciences*, 10 (11), 1-12.
- Meutia, C., M. Hayati, dan R. Hayati. 2022. Pengaruh dosis mulsa sekam padi terhadap pertumbuhan dan hasil beberapa varietas bawang merah (*Allium ascalonicum* L.). *Agrica Ekstensi*, 16 (2) : 42-48.
- Milovančević, M., M. Trifunović-Momčilov, O. Radulović, S. Milošević, and A. Subotić. 2024. Drought stress effects and ways for improving drought tolerance in *Impatiens walleriana* Hook. f. a review. *Horticulturae*, 10 (9) : 1-26.
- Mohamed, R. H., R. Badr, A. Abdel-Latif, and A. Sorour. 2026. Drought tolerance mechanisms across C3 and C3–C4 intermediate photosynthetic types

- revealed by physiological and gene expression profiling. *Scientific Reports*, 16 : 1-16.
- Morales, M. and S. Munné-Bosch. 2019. Malondialdehyde: facts and artifacts. *Plant physiology*, 180 (3) : 1246-1250.
- Mudhor, M. A., P. Dewanti, T. Handoyo, dan T. Ratnasari. 2022. Pengaruh cekaman kekeringan terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman padi hitam varietas jeliteng. *Agrikultura*, 33 (3) : 247-256.
- Mugwanya, M., F. Kimera, A. Abdelnaser, and H. Sewilam. 2023. Coping with water stress: ameliorative effects of combined treatments of salicylic acid and glycine betaine on the biometric traits and water-use efficiency of onion (*Allium cepa*) cultivated under deficit drip irrigation. *Biomolecules*, 13 (11) : 1-16.
- Munisamy, S. and G. K. Ramamoorthy. 2024. Response of Cassava Root *Manihot esculenta* to potassium-rich biostimulants manufactured from red seaweed *Gracilaria salicornia* under semi-arid condition. *Agricultural Research*, 13 (3) : 484-497.
- Nalendra, A. K. dan M. Mujiono. 2020. Perancangan perancangan iot (internet of things) pada sistem irigasi tanaman cabai. *Generation Journal*, 4 (2) : 61-68.
- Nanda, A., I. Sari, dan E. Y. Yusuf. 2022. Pertumbuhan dan produksi bawang merah (*Allium cepa* L.) dengan pemberian mikroorganisme lokal (Mol) feses walet pada media gambut. *Jurnal Agro Indragiri*, 7 (1) : 22-34.
- Nguyen, T. H., S. Huang, D. Meynard, C. Chaine, R. Michel, M. R. G. Roelfsema, G. Emmanuel, S. Hervé, and A. A. Véry. 2017. A dual role for the OsK5. 2 ion channel in stomatal movements and K⁺ loading into xylem sap. *Plant physiology*, 174 (4) : 2409-2418.
- Nivetha, N., P. S. Shukla, S. S. Nori, S. Kumar, and S. Suryanarayan. 2024. A red seaweed *Kappaphycus alvarezii*-based biostimulant (AgroGain®) improves the growth of Zea mays and impacts agricultural sustainability by beneficially priming rhizosphere soil microbial community. *Frontiers in Microbiology*, 15 : 1-18.
- Noli, Z. A. and M. Idris. 2023. Application of *Portulaca oleracea* L. Extract as a Biostimulant with Several Types of Solvents on The Growth of Kale (*Brassica oleracea* var. acephala). *Jurnal Biologi Tropis*, 23 (4) : 715-721.
- Nunes, A., F. D. S. Dutra, L. R. B. Santos, C. P. Martins, A. R. Schneider, E. R. Oliveira, and G. P. P. Lima. 2025. A Biostimulant from *Kappaphycus alvarezii* Enhances the Growth and Development of Basil (*Ocimum basilicum* L.) Plants. *Horticulturae*, 11 (4) : 1-24.
- Parkash, V. and S. Singh. 2020. A review on potential plant-based water stress indicators for vegetable crops. *Sustainability*, 12(10) : 1-28.

- Patanè, C., S. L. Cosentino, D. Romano, dan S. Toscano. 2022. Relative water content, proline, and antioxidant enzymes in leaves of long shelf-life tomatoes under drought stress and rewatering. *Plants*, 11 (22) : 1-17.
- Permana, D. F. W., A. H. Mustofa, L. Nuryani, P. S. Kristiaputra, dan Y. Alamudin. 2021. Budidaya bawang merah di Kabupaten Brebes. *Jurnal Bina Desa*, 3 (2) : 125-132.
- Pitardi, S., A. Chiriaco, M. Pellegrino, A. Pesole, A. Mazzeo, and G. Ferrara. 2025. Stomatal number and size in horticultural tree species: Seasonal and varietal variation to face different climatic conditions. *Scientia Horticulturae*, 351 : 1-21.
- Purbajanti, E. D., D. Safitri, M. A. Wedyan, D. Roeswitawati, E. S. Savitri, S. Yuniati, and T. M. Yuhana. 2023. Drought Stress Effect on Red Onion: Morphological, Physiological, and Yield Attributes. *Sarhad Journal of Agriculture*, 39 (1) : 91-100.
- Pusparani, S., A. Leona, S. Ristiyana, Y. Wijayanto, I. Purnamasari, T. W. Saputra, dan Y. Rachmandhika. 2025. Adaptasi varietas bawang merah terhadap cekaman lengas: kajian respons pertumbuhan dan produktivitas. *Media Pertanian*, 10 (1) : 30-38.
- Pyae, W. P., H. H. Park, and K. Yong-In. 2025. Integrated approach of using biostimulants for improving growth, physiological traits, and tolerance to abiotic stressors in rice and soybean. *Agronomy*, 15 (10) : 1-61.
- Qi, J., C. P. Song, B. Wang, J. Zhou, J. Kangasjärvi, J. K. Zhu, and Z. Gong. 2018. Reactive oxygen species signaling and stomatal movement in plant responses to drought stress and pathogen attack. *Journal of integrative plant biology*, 60 (9), 805-826.
- Qi, X. and K. U. Torii. 2018. Hormonal and environmental signals guiding stomatal development. *BMC biology*, 16 (1) : 1-11.
- Raza, Q. U. A., M. A. Bashir, A. Rehim, R. Ejaz, H. M. A. Raza, U. Shahzad, F. Ahmed, and Y. Geng. 2022. Biostimulants induce positive changes in the radish morpho-physiology and yield. *Frontiers in Plant Science*, 13 : 1-11.
- Sanusi, B., A. Z. Inyass, S. Zubaidatu, T. E. D. Barbra, H. Saleh, and M. L. Umar. 2025. Effect of drought stress on some morphological, physiological and biochemical parameters in soybean (TGX-1835-10E) variety. *Discover Plants*, 2 (1) : 1-12.
- Sari, V. I., N. Susi, dan A. Hunafa. 2022. Interaksi berbagai media tanam dan konsentrasi Ab Mix terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman bawang merah (*Allium cepa*. L). *Jurnal Agrotela*, 1 (2) : 1-7.
- Sayaka, B., T. Sudaryanto, dan S. Wahyuni. 2022. Upaya petani dan pemerintah menghadapi bencana kekeringan. In *Forum Penelitian Agro Ekonomi*, 40 (1) : 25-38.

- Seleiman, M. F., N. Al-Suhaibani, N. Ali, M. Akmal, M. Alotaibi, Y. Refay, and M. L. Battaglia. 2021. Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. *Plants*, 10 (2) : 1-25.
- Setiawati, T. dan I. F. Syamsi. 2019. Karakteristik stomata berdasarkan estimasi waktu dan perbedaan intensitas cahaya pada daun *Hibiscus tiliaceus* Linn. di Pangandaran, Jawa Barat. *Pro-Life*, 6 (2) : 148-159.
- Shayen, M. P., Z. A. Noli, dan S. Suwirmen. 2022. Aplikasi ekstrak *Portulaca oleracea* L. sebagai biostimulan pada pertumbuhan kale (*Brassica oleracea* L. var acephala). *Bioscientist: Jurnal Ilmiah Biologi*, 10 (2) : 708-718.
- Shukla, P. S., N. Nivetha, S. S. Nori, S. Kumar, A. T. Critchley, and S. Suryanarayan. 2024. A biostimulant prepared from red seaweed *Kappaphycus alvarezii* induces flowering and improves the growth of *Pisum sativum* grown under optimum and nitrogen-limited conditions. *Frontiers in Plant Science*, 14 : 1-18.
- Sible, C. N., J. R. Seebauer, and F. F. Below. 2021. Plant biostimulants: A categorical review, their implications for row crop production, and relation to soil health indicators. *Agronomy*, 11 (7) : 1-20.
- Singh, P., J. Rane, and J. Gopal. 2024. Detection of onion responses to water stress using physiological and biochemical parameters. *Journal of Horticultural Sciences*, 19 (2) : 1-10.
- Siregar, S. R., Z. Zuraida, dan Z. Zuyasna. 2017. Pengaruh kadar air kapasitas lapang terhadap pertumbuhan beberapa genotipe M3 kedelai (*Glycine max* L. Merr). *J. Floratek*, 12 (1) : 10-20.
- Solagracya, J. H. P. and H. Hanum. 2025. Optimizing shallot plant growth and plant nutrient through site-specific fertilizer dose evaluation. *Indonesian Journal of Agricultural Research*, 8 (1) : 32-39.
- Soltys-Kalina, D., J. Plich, D. Strzelczyk-Żyta, J. Śliwka, and W. Marczewski. 2016. The effect of drought stress on the leaf relative water content and tuber yield of a half-sib family of 'Katahdin'-derived potato cultivars. *Breeding science*, 66 (2) : 328-331.
- Sun, T., S. Rao, X. Zhou, and L. Li. 2022. Plant carotenoids: recent advances and future perspectives. *Molecular Horticulture*, 2 (1) : 1-21.
- Suryaningrum, R., E. Purwanto, dan S. Sumiyati. 2016. Analisis pertumbuhan beberapa varietas kedelai pada perbedaan intensitas cekaman kekeringan. *Agrosains: Jurnal Penelitian Agronomi*, 18 (2) : 33-37.
- Suwirmen, S., Z. A. T. Noli, dan T. Rukmini. 2022. Aplikasi Ekstrak *Padina minor* dan *Centella asiatica* sebagai biostimulan terhadap pertumbuhan tanaman kedelai (*Glycine max* (L.) Merr.). *Bioscientist: Jurnal Ilmiah Biologi*, 10 (1) : 166-172.
- Syafitri, T., H. Hafiludin, dan A. B. Chandra. 2022. Pemanfaatan ekstrak rumput laut (*Eucheuma cottonii*) dari Perairan Sumenep sebagai antioksidan. *Jurnal*

- Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology, 15 (2) : 160-168.
- Tamary, E., R. Nevo, L. Naveh, S. Levin-Zaidman, V. Kiss, A. Savidor, Y. Levin, Y. Eyal, Z. Reich, and Z. Adam. 2019. Chlorophyll catabolism precedes changes in chloroplast structure and proteome during leaf senescence. *Plant Direct*, 3 (3) : 1-19.
- Tarigan, N. 2020. Eksplorasi keanekaragaman makroalga di perairan londalima kabupaten sumba timur. *Jurnal Biologi dan Pendidikan Biologi*, 5 (1) : 37-43.
- Turner, N. C. 2018. Turgor maintenance by osmotic adjustment: 40 years of progress. *Journal of experimental botany*, 69 (13) : 3223-3233.
- van der Weide, R. Y., H. J. H. Elissen, S. J. E. Hol, A. Evenhuis, R. C. H. de Vos, I. M. van der Meer, and W. C. A. van Geel. 2022. Agricultural applications of seaweed extracts: Seaweeds for plant care: Review and experiments in the Netherlands (WPR-OT-940). Wageningen Research. <https://doi.org/10.18174/629760>
- Vasantharaja, R., L. S. Abraham, D. Inbakandan, R. Thirugnanasambandam, T. Senthilvelan, S. A. Jabeen, and P. Prakash. 2019. Influence of seaweed extracts on growth, phytochemical contents and antioxidant capacity of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 17 : 589-594.
- Wach, D. and P. Skowron. 2022. An overview of plant responses to the drought stress at morphological, physiological and biochemical levels. *Polish Journal of Agronomy*, (50) : 25-34.
- Wang, S., H. Zhou, Z. He, D. Ma, W. Sun, X. Xu, and Q. Tian. 2024. Effects of drought stress on leaf functional traits and biomass characteristics of *Atriplex canescens*. *Plants*, 13 (14) : 1-16.
- Yao, Y., X. Wang, B. Chen, M. Zhang, and J. Ma. 2020. Seaweed extract improved yields, leaf photosynthesis, ripening time, and net returns of tomato (*Solanum lycopersicum* Mill.). *ACS omega*, 5 (8) : 4242-4249.
- Yourga, A., L. Chaniago, dan M. Kasim. 2024. Efektivitas ekstrak *Padina minor* dalam meningkatkan kadar klorofil pada tanaman sorgum. *Bioscientist: Jurnal Ilmiah Biologi*, 12 (2) : 2028-2037.
- Yu, S., H. Wang, X. Jin, and J. Lin. 2025. Identification of Key Regulators of Plant Height Variation and Stress Tolerance of the RcMYB Family in *Ricinus communis*. *International Journal of Molecular Sciences*, 26 (21) : 1-20.
- Zayed, B. A., H. A. Ghazy, M. E. Negm, S. M. Bassiouni, A. A. Hadifa, D. E. El-Sharnobi, M. M. Abdelhamed, E. A. Abo-Marzoka, A. M. Okasha, S. Elsayed, A. A. Farooque and Z. M. Yaseen. 2023. Response of varied rice genotypes on cell membrane stability, defense system, physio-morphological traits and

yield under transplanting and aerobic cultivation. *Scientific Reports*, 13 (1) : 1-16.

Zhang, Y., A. Long, P. Zhang, X. Deng, and X. Gu. 2024. Are water use efficiency and effectiveness relatively lower in arid zones? Comparative analyses of the water productivity of typical crops. *Agronomy*, 14 (9) : 1-18.

Zhou, Q., Y. Li, X. Wang, C. Yan, C. Ma, J. Liu, and S. Dong. 2022. Effects of different drought degrees on physiological characteristics and endogenous hormones of soybean. *Plants*, 11 (17) : 1-17.