IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Morfologi Bibit Kelapa Sawit

4.1.1 Tinggi Tanaman

Tinggi tanaman merupakan salah satu parameter morfologi yang diamati untuk mengetahui pertumbuhan vegetatif bibit kelapa sawit selama fase *pre nursery*. Parameter ini digunakan sebagai indikator respons pertumbuhan bibit terhadap pemberian NaCl sebagai cekaman salinitas dan PGPR pada berbagai dosis. Pengukuran tinggi tanaman dilakukan dari pangkal batang hingga titik tumbuh menggunakan penggaris atau mistar ukur dengan satuan sentimeter (cm), yang diamati pada 4, 6, 8, 10, dan 12 MST. Penelitian menggunakan dua faktor perlakuan, yaitu konsentrasi NaCl yang terdiri atas K0 (0 ppm), K1 (2.000 ppm), dan K2 (4.000 ppm), serta dosis PGPR yang terdiri atas M0 (0 ml), M1 (30 ml), M2 (40 ml), dan M3 (50 ml). Hasil rerata tinggi tanaman bibit kelapa sawit pada berbagai perlakuan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 1. Rata-rata Tinggi Tanaman Bibit Kelapa Sawit

Perlakuan	MST				
	4	6	8	10	12
K0M0	5.49	8.53	13.41	16,91	19.70
K0M1	6.00	9.41	12.25	16.16	18.21
K0M2	6.55	9.25	13.33	15.53	18.11
K0M3	7.38	10.06	11.83	14.06	14.73
K1M0	5.96	7.70	9.83	16.02	18.52
K1M1	5.46	6.41	9.25	13.66	17.13
K1M2	8.56	10.81	12.66	13.91	15.25
K1M3	4.88	7.36	8.91	16.76	21.93
K2M0	4.59	7.05	10.91	17.50	21.43
K2M1	5.20	7.38	10.00	16.86	20.33
K2M2	4.66	5.38	8.66	16.13	19.00
K2M3	7.10	10.83	13.75	19.76	22.83
Uji F	tn	tn	tn	tn	tn
KK %	35.09	33.46	32.94	26.93	24.98

Keterangan: MST= (Minggu Setelah Tanam), K0= (Kontrol), K1= (NaCl 2000ppm), K2= (NaCl 4000 ppm), M0= (Kontrol), M1= (PGPR 30 ml), M2= (PGPR 40 ml), M3= (PGPR 50 ml), (tn)= tidak nyata, KK= Koefesien Keragaman.

Berdasarkan hasil uji F, menunjukkan bahwa interaksi antara perlakuan NaCl dan PGPR tidak berpengaruh nyata (tn) terhadap tinggi tanaman bibit kelapa sawit pada seluruh umur pengamatan, yaitu 4, 6, 8, 10, dan 12 MST. Nilai koefisien keragaman (KK) pada parameter tinggi tanaman menunjukkan kecenderungan menurun seiring bertambahnya umur tanaman, yaitu berturut-turut sebesar 35,09%; 33,46%; 32,94%; 26,93%; dan 24,98% pada umur 4, 6, 8, 10, dan 12 MST. Nilai KK yang tergolong tinggi, terutama pada awal pengamatan, mengindikasikan besarnya keragaman antarindividu tanaman dalam masing-masing perlakuan, yang turut menjadi penyebab tidak terdeteksinya pengaruh nyata meskipun terdapat selisih nilai rata-rata yang cukup lebar antarperlakuan.

Pada umur 4 MST, rata-rata tinggi tanaman berkisar antara 4,59 cm (K2M0) hingga 8,56 cm (K1M2). Pada umur 6 MST, kisaran nilai rata-rata berada antara

5,38 cm (K2M2) hingga 10,83 cm (K2M3). Pola tersebut berlanjut pada umur 8 MST dengan kisaran 8,66 cm (K2M2) hingga 13,75 cm (K2M3), dan pada umur 10 MST dengan kisaran 13,66 cm (K1M1) hingga 19,76 cm (K2M3). Pola ini menunjukkan bahwa perlakuan dengan nilai rata-rata tertinggi maupun terendah tidak selalu berasal dari kombinasi taraf NaCl dan PGPR yang sama pada setiap umur pengamatan, meskipun perlakuan K2M3 (NaCl 4.000 ppm + PGPR 50 ml) mulai menunjukkan kecenderungan nilai rata-rata tertinggi sejak umur 6 MST. Pada umur 12 MST, rata-rata tinggi tanaman tertinggi konsisten terdapat pada perlakuan K2M3 (NaCl 4.000 ppm + PGPR 50 ml) sebesar 22,83 cm, sedangkan rata-rata terendah terdapat pada perlakuan K0M3 (tanpa NaCl + PGPR 50 ml) sebesar 14,73 cm, dengan selisih sebesar 8,10 cm. Menariknya, perlakuan K0M3 yang tidak diberi cekaman NaCl namun diberi dosis PGPR tertinggi (50 ml) justru menunjukkan pola penurunan rata-rata tinggi tanaman yang cukup nyata secara nominal sejak umur 8 MST (11,83 cm) hingga umur 12 MST (14,73 cm dari titik awal yang sempat lebih tinggi pada umur 4 dan 6 MST, yaitu 7,38 cm dan 10,06 cm). Meskipun demikian, hasil uji F pada seluruh umur pengamatan menunjukkan bahwa selisih-selisih tersebut belum signifikan secara statistik pada taraf 5%.

Perbedaan nilai rata-rata tinggi tanaman antar perlakuan menunjukkan bahwa respons bibit terhadap kombinasi NaCl dan PGPR tidak mengikuti pola yang sama pada setiap perlakuan. Pada umur 12 MST, perlakuan dengan NaCl 4.000 ppm dan PGPR 50 ml (K2M3) justru menghasilkan rata-rata tinggi tanaman tertinggi, sedangkan perlakuan tanpa NaCl dengan dosis PGPR yang sama (K0M3) menghasilkan rata-rata terendah. Pola semacam ini sejalan dengan temuan pada penelitian inokulasi PGPR pada tanaman padi di media bersalinitas tinggi, yang menunjukkan bahwa efektivitas PGPR dalam meningkatkan pertumbuhan vegetatif sangat bergantung pada jenis isolat dan kondisi media, sehingga hasil terbaik tidak selalu diperoleh pada kombinasi taraf cekaman dan dosis PGPR yang secara logis diprediksi paling menguntungkan (Rahmawati dan Astuti, 2020). Pola tersebut menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi NaCl tidak selalu diikuti dengan penurunan tinggi tanaman, demikian pula peningkatan dosis PGPR tidak selalu menghasilkan pertumbuhan yang lebih tinggi, sebagaimana dilaporkan pada tanaman selada bahwa interaksi antara takaran dan frekuensi aplikasi PGPR memengaruhi seluruh parameter pertumbuhan, tetapi pertumbuhan terbaik justru diperoleh pada dosis PGPR yang lebih rendah (25 g) dibandingkan dosis yang lebih tinggi, bukan pada dosis maksimum yang diuji (Naihati *et al*., 2018). Hal ini menunjukkan bahwa respons tinggi tanaman dipengaruhi oleh kombinasi kedua faktor dan tidak menunjukkan kecenderungan yang konsisten antar perlakuan, sebagaimana juga ditemukan pada interaksi salinitas dan pupuk hayati mikoriza terhadap tanaman tomat, yang berpengaruh nyata hanya pada sebagian parameter pertumbuhan dan tidak pada parameter lainnya, sehingga responsnya tidak seragam di seluruh taraf perlakuan (Prasetya *et al*., 2024). Oleh karena itu, meskipun terdapat perbedaan nilai rata-rata yang cukup besar, pola tersebut belum cukup kuat untuk menghasilkan perbedaan yang nyata secara statistik.

PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*) diketahui dapat membantu pertumbuhan tanaman melalui beberapa mekanisme, di antaranya penyediaan unsur hara, produksi senyawa pemacu pertumbuhan, pelarutan fosfat, hingga fiksasi nitrogen. Beberapa genus bakteri seperti Azotobacter, Azospirillum, Rhizobium, dan Bacillus berperan dalam proses fiksasi nitrogen dan pelarutan fosfat, serta

mampu menghasilkan hormon asam indol asetat yang pada akhirnya mendukung pertumbuhan tanaman secara keseluruhan (Jannah, 2022). Meski demikian, mekanisme tersebut ternyata tidak selalu memberikan hasil yang sama pada setiap jenis tanaman maupun kondisi lingkungan tempat tanaman itu tumbuh. Sebagai contoh, pada tanaman padi yang ditumbuhkan di media dengan salinitas tinggi, rhizobakteria yang mampu menghasilkan IAA tetap dapat hidup dan bekerja meningkatkan pertumbuhan vegetatif tanaman meski berada pada kondisi salin (Junianti *et al*., 2020). Hal ini menunjukkan bahwa PGPR memang punya kemampuan adaptasi terhadap kondisi tercekam, namun responnya tetap bisa berbeda-beda tergantung seberapa berat cekaman yang dialami tanaman. Pada kondisi cekaman salinitas, tanaman juga dituntut untuk tetap menjaga keseimbangan air dan ion di dalam jaringannya agar tidak mengalami kerusakan sel, sehingga kemampuan PGPR dalam menghasilkan enzim ACC deaminase turut membantu tanaman lebih toleran terhadap salinitas (Nurhaliza *et al*., 2025). Kondisi inilah yang membuat respons pertumbuhan tanaman bisa berbeda-beda tergantung tingkat cekaman dan dosis PGPR yang diberikan, bukan semata-mata karena jumlah bakterinya saja. Selain faktor lingkungan, efektivitas PGPR juga sangat bergantung pada kemampuan bakteri itu sendiri untuk beradaptasi dan berinteraksi dengan baik di daerah perakaran tanaman. Bakteri yang mampu bersinergi dengan baik dalam proses fiksasi nitrogen dan pelarutan fosfat cenderung lebih efektif meningkatkan ketersediaan hara dan produksi hormon pertumbuhan, sehingga berdampak positif terhadap pertumbuhan tanaman (Amalia *et al*., 2020). Oleh karena itu, tidak mengherankan apabila peningkatan dosis PGPR yang diberikan tidak selalu diikuti dengan peningkatan tinggi tanaman secara bertahap, karena keberhasilan aplikasi PGPR sangat dipengaruhi oleh kecocokan isolat bakteri dengan kondisi rizosfer serta fase pertumbuhan tanaman saat aplikasi dilakukan..

Hasil penelitian ini sejalan dengan Abidin *et al*. (2025) yang melaporkan bahwa pemberian biochar dan volume PGPR pada bibit kelapa sawit di *pre nursery* belum menunjukkan pengaruh yang konsisten terhadap seluruh parameter pertumbuhan. Hasil serupa juga dilaporkan oleh Lubis *et al*. (2025) pada bibit kelapa sawit di main nursery, yang menunjukkan bahwa respons pertumbuhan terhadap PGPR berbeda berdasarkan jenis PGPR dan kondisi media tanam. Temuan tersebut memperlihatkan bahwa pemberian bahwa PGPR tidak selalu meningkatkan pertumbuhan bibit kelapa sawit apabila kondisi lingkungan tidak mendukung aktivitas mikroba. Temuan tersebut memperlihatkan bahwa pemberian PGPR tidak selalu menghasilkan peningkatan tinggi bibit secara nyata, karena keberhasilannya dipengaruhi oleh jenis bakteri, kondisi media, fase pertumbuhan tanaman, serta karakter tanaman yang diamati. Dengan demikian, tidak nyatanya pengaruh PGPR terhadap tinggi tanaman dalam penelitian ini tidak menunjukkan bahwa PGPR tidak memberikan manfaat, tetapi menunjukkan bahwa respons pada parameter tinggi belum cukup kuat untuk menghasilkan perbedaan statistik pada kondisi penelitian yang digunakan.

4.1.2 Jumlah Daun

Jumlah daun merupakan salah satu parameter morfologi yang diamati untuk mengetahui perkembangan vegetatif bibit kelapa sawit selama fase *pre nursery*. Pertambahan jumlah daun menunjukkan perkembangan tanaman dalam membentuk organ vegetatif yang berperan penting dalam proses fotosintesis.

Berdasarkan hasil pengamatan pada 4, 6, 8, 10, dan 12 MST, jumlah daun pada seluruh kombinasi perlakuan menunjukkan kecenderungan meningkat seiring bertambahnya umur tanaman. Pada 4 MST, rerata jumlah daun berkisar antara 1,16–1,66 helai, sedangkan pada 12 MST meningkat menjadi 3,50–4,33 helai. Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa interaksi taraf NaCl dan dosis PGPR tidak berpengaruh nyata terhadap jumlah daun pada seluruh waktu pengamatan, dengan nilai KK yang menurun dari 23,34% pada 4 MST menjadi 13,42% pada 12 MST. Rata-rata jumlah daun bibit kelapa sawit dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2. Rata-rata Jumlah Daun Tanaman Bibit Kelapa Sawit

Perlakuan	MST				
	4	6	8	10	12
K0M0	1.22	1.27	2.44	3.50	3.83
K0M1	1.38	1.50	2.50	3.00	3.83
K0M2	1.50	1.66	2.50	3.33	3.66
K0M3	1.66	1.66	2.16	3.00	3.50
K1M0	1.27	1.66	2.33	3.00	3.94
K1M1	1.16	1.66	2.16	3.00	3.83
K1M2	1.66	2.00	2.66	3.33	3.66
K1M3	1.33	1.66	2.33	3.33	4.33
K2M0	1.16	1.33	2.33	3.33	3.66
K2M1	1.50	1.50	2.16	3.66	4.00
K2M2	1.16	1.50	2.66	3.33	4.00
K2M3	1.16	1.66	2.66	3.33	4.00
Uji F	tn	tn	tn	tn	tn
KK %	23.34	22.49	19.99	14.38	13.42

Keterangan: MST= (Minggu Setelah Tanam), K0= (Kontrol), K1= (NaCl 2000ppm), K2= (NaCl 4000 ppm), M0= (Kontrol), M1= (PGPR 30 ml), M2= (PGPR 40 ml), M3= (PGPR 50 ml), %, tn = Tidak Nyata, KK= Koefesien Keragaman.

Berdasarkan data pada Tabel 3, pada 12 MST, jumlah daun yang relatif berdekatan antar perlakuan menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi NaCl hingga 4.000 ppm dan pemberian PGPR hingga 50 ml belum menghasilkan perbedaan jumlah daun yang nyata. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pembentukan daun pada bibit kelapa sawit dalam penelitian ini relatif stabil meskipun tanaman memperoleh tingkat salinitas dan dosis PGPR yang berbeda. Penurunan nilai KK selama periode pengamatan juga menunjukkan bahwa keragaman jumlah daun antarindividu semakin kecil seiring bertambahnya umur tanaman. Keragaman yang lebih tinggi pada awal pengamatan dapat berkaitan dengan perbedaan vigor awal bibit, sedangkan pada akhir pengamatan pertumbuhan tanaman menjadi lebih seragam. Dengan demikian, tidak nyatanya pengaruh perlakuan terhadap jumlah daun lebih menunjukkan bahwa parameter ini memiliki respons yang relatif rendah terhadap perlakuan yang diberikan selama periode penelitian.

Tidak adanya pengaruh nyata salinitas terhadap jumlah daun diduga berkaitan dengan kemampuan bibit mempertahankan proses pembentukan daun pada tingkat cekaman yang diberikan. Salinitas dapat memengaruhi tanaman melalui penurunan potensial air media akibat akumulasi ion Na^+ dan Cl^- pada jaringan tanaman, yang selanjutnya menekan penyerapan ion K^+, Ca^{2+}, dan unsur

hara penting lainnya sehingga terjadi gangguan keseimbangan ion (dan Candra, 2025). Meskipun demikian, tingkat respons setiap parameter pertumbuhan tidak selalu sama, karena pertumbuhan akar pada lingkungan salin umumnya kurang terpengaruh dibandingkan dengan pertumbuhan bagian pucuk atau daun akibat adanya perbaikan keseimbangan osmotik yang mempertahankan kemampuan tanaman menyerap air (Normawati *et al*., 2019). Hal ini juga sejalan dengan hasil penelitian Darmayanti *et al*., (2026) yang menunjukkan bahwa cekaman salinitas NaCl secara in vitro berpengaruh nyata terhadap tinggi planlet dan indeks stomata, tetapi tidak berpengaruh signifikan terhadap jumlah daun, karena ketersediaan air yang masih relatif cukup mampu mempertahankan jumlah daun tetap pada beberapa taraf konsentrasi. Kondisi serupa juga dilaporkan pada pengamatan pertumbuhan mangrove, di mana jumlah daun tidak menunjukkan perbedaan nyata terhadap peningkatan salinitas meskipun parameter pertumbuhan lain terpengaruh (Made dan Ernawati, 2022). Oleh sebab itu, tidak ditemukannya perbedaan jumlah daun tidak dapat langsung diartikan bahwa NaCl tidak memberikan tekanan terhadap tanaman, tetapi menunjukkan bahwa respons terhadap perlakuan tersebut tidak cukup kuat untuk mengubah jumlah daun secara nyata. Hal ini juga menunjukkan bahwa jumlah daun dapat menjadi parameter yang kurang sensitif dibandingkan parameter fisiologis atau parameter pertumbuhan tertentu dalam mendeteksi respons bibit terhadap salinitas.

Pemberian PGPR juga belum menunjukkan pengaruh nyata terhadap jumlah daun pada seluruh waktu pengamatan. PGPR memiliki berbagai mekanisme dalam mendukung pertumbuhan tanaman, antara lain membantu ketersediaan unsur hara, menghasilkan senyawa pemacu pertumbuhan, serta meningkatkan kemampuan tanaman menghadapi cekaman lingkungan (Jannah, 2022). Namun, respons tanaman terhadap PGPR dipengaruhi oleh jenis bakteri, dosis, kondisi media, serta kemampuan bakteri beradaptasi dan berinteraksi dengan tanaman. Pada penelitian ini, PGPR yang digunakan terdiri atas pseudomonas sp., bacillus sp., azotobacter sp., dan azospirillum sp., sehingga manfaat yang dihasilkan bergantung pada keberhasilan masing-masing bakteri dalam mempertahankan aktivitasnya di lingkungan perakaran. Apabila respons PGPR lebih banyak mendukung perkembangan akar, penyerapan unsur hara, atau proses fisiologis tanaman, pengaruh tersebut belum tentu langsung terlihat dalam bentuk peningkatan jumlah daun. Hal ini sejalan dengan penelitian pada tanaman tomat yang menunjukkan bahwa aplikasi azotobacter sp. dan pseudomonas sp. sebagai PGPR belum meningkatkan hasil tanaman secara nyata meskipun mampu meningkatkan serapan nitrogen tanaman (Suryatmana *et al*., 2022). Kondisi serupa juga dilaporkan pada tanaman terung ungu, di mana pemberian PGPR akar bambu tidak berpengaruh nyata terhadap parameter tinggi tanaman maupun jumlah daun, yang diduga disebabkan oleh durasi pengamatan yang masih terlalu singkat sehingga pengaruh PGPR pada tiap fase pertumbuhan belum sepenuhnya termanifestasi (Tasya *et al*., 2023). Dengan demikian, tidak nyatanya pengaruh PGPR terhadap jumlah daun bukan berarti bakteri tersebut tidak aktif, melainkan lebih menggambarkan bahwa manfaat PGPR pada fase pengamatan tertentu belum termanifestasi secara langsung pada parameter jumlah daun, dan kemungkinan akan lebih terlihat pada parameter pertumbuhan lain atau pada durasi pengamatan yang lebih panjang.

Hasil penelitian ini sejalan dengan Munir *et al*. (2026) yang melaporkan bahwa jumlah daun bibit kelapa sawit pada fase pre-nursery relatif tidak responsif

terhadap perlakuan yang diberikan, sedangkan karakter pertumbuhan lainnya dapat menunjukkan respons yang lebih jelas. Hasil tersebut memperlihatkan bahwa setiap parameter pertumbuhan mempunyai tingkat sensitivitas yang berbeda terhadap perubahan lingkungan. Penelitian Lubis *et al*. (2025) juga menunjukkan bahwa respons bibit kelapa sawit terhadap aplikasi PGPR dapat berbeda bergantung pada kondisi media dan karakter pertumbuhan yang diamati. Dengan demikian, tidak nyatanya pengaruh PGPR terhadap jumlah daun dalam penelitian ini tidak menunjukkan bahwa PGPR tidak memberikan manfaat bagi tanaman, tetapi menunjukkan bahwa manfaat tersebut belum mewujudkan dalam bentuk perubahan jumlah daun yang dapat dibedakan secara statistik.

4.1.3 Diameter Batang

Diameter batang merupakan salah satu parameter morfologi yang diamati untuk mengetahui perkembangan pertumbuhan vegetatif bibit kelapa sawit. Pertambahan diameter berkaitan dengan pembentukan dan perkembangan jaringan batang yang membutuhkan air serta unsur hara untuk menunjang pertumbuhan tanaman. Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa interaksi antara konsentrasi NaCl dan dosis PGPR berpengaruh nyata terhadap diameter bibit kelapa sawit pada umur 8 MST. Rata-rata diameter bibit kelapa sawit pada kombinasi perlakuan NaCl dan PGPR dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 3. Interaksi NaCL dan PGPR Diameter Tanaman Bibit Kelapa Sawit

Perlakuan	Diameter (cm) Pada 8 MST			
	M0	M1	M2	M3
K0	0.46 a	0.60 a	0.62 a	0.50 a
K1	0.40 a	0.50 ab	0.33 b	0.41 a
K2	0.43 a	0.35 b	0.40 b	0.51 a
Uji F	*			
KK (%)	20.42			
Pr (> F)	0.0429			

Keterangan: MST= (Minggu Setelah Tanam), K0= (Kontrol), K1= (NaCl 2000ppm), K2= (NaCl 4000 ppm), K0= (Kontrol), K1= (NaCl 2000ppm), K2= (NaCl 4000 ppm), M0= (Kontrol), M1= (PGPR 30 ml), M2= (PGPR 40 ml), M3= (PGPR 50 ml), (*)= berbeda nyata pada taraf 5%, KK= Koefesien Keragaman.

Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 4, interaksi antara konsentrasi NaCl dan dosis PGPR terhadap diameter batang berpengaruh nyata (signifikan) pada taraf 5%, dengan nilai Pr (> F) sebesar 0,0429. Hasil uji lanjut Duncan menunjukkan bahwa perlakuan K0M2 menghasilkan diameter batang tertinggi, yaitu 0,62 cm dengan notasi a, sedangkan diameter batang terendah terdapat pada K1M2 sebesar 0,33 cm dengan notasi b. Perlakuan K0M0, K0M1, K0M3, K1M3, K2M0, dan K2M3 yang memiliki notasi a tidak berbeda nyata dengan K0M2. Perlakuan K2M1 dengan notasi b berbeda nyata dengan perlakuan yang memiliki notasi a, sedangkan K1M1 dengan notasi ab tidak berbeda nyata dengan kelompok a maupun b. Tingginya diameter batang pada K0M2 menunjukkan bahwa kombinasi tanpa NaCl dan PGPR 40 ml memberikan nilai diameter batang paling tinggi dibandingkan perlakuan lainnya pada umur 8 MST.

Perbedaan diameter batang antar perlakuan diduga berkaitan dengan perubahan kondisi lingkungan perakaran akibat pemberian NaCl dan respons

tanaman terhadap PGPR. Pada kondisi tanpa NaCl, seluruh dosis PGPR berada pada kelompok notasi yang sama, sehingga tidak terdapat perbedaan nyata antar dosis. Pada NaCl 2.000 ppm, K1M2 memiliki notasi b dengan diameter 0,33 cm dan berbeda nyata dengan K1M0 serta K1M3 yang memiliki notasi a dengan diameter masing-masing 0,40 dan 0,41 cm. Sementara itu, pada NaCl 4.000 ppm, K2M1 dan K2M2 memiliki notasi b, sedangkan K2M0 dan K2M3 memiliki notasi a. Pola tersebut menunjukkan bahwa peningkatan dosis PGPR tidak selalu diikuti dengan peningkatan diameter batang karena respons tanaman terhadap PGPR dipengaruhi oleh kondisi salinitas media. PGPR dapat membantu tanaman dalam memperoleh dan memanfaatkan unsur hara yang diperlukan untuk pertumbuhan, tetapi efektivitasnya dapat berbeda pada kondisi lingkungan yang berbeda.

PGPR dapat membantu pertumbuhan tanaman melalui beberapa mekanisme, seperti meningkatkan ketersediaan unsur hara, menghasilkan fitohormon, dan mendukung perkembangan sistem perakaran. Unsur hara yang tersedia bagi tanaman kemudian digunakan dalam berbagai proses pertumbuhan, termasuk pembentukan jaringan vegetatif. Hasil penelitian Ridwan *et al*. (2026) pada bibit kelapa sawit menunjukkan bahwa aplikasi PGPR dapat berkaitan dengan peningkatan ketersediaan unsur hara dan pertumbuhan bibit pada media ultisol. Temuan tersebut mendukung dugaan bahwa keberadaan PGPR pada penelitian ini dapat membantu pertumbuhan bibit melalui aktivitasnya di daerah perakaran, meskipun respons yang dihasilkan berbeda pada setiap kombinasi perlakuan.

Hasil penelitian ini juga sejalan dengan Peng *et al*. (2023) yang menjelaskan bahwa bakteri pemacu pertumbuhan tanaman dapat membantu tanaman menghadapi cekaman salinitas melalui peningkatan ketersediaan dan pemanfaatan unsur hara, pengaturan hormon pertumbuhan, serta peningkatan kemampuan tanaman dalam menghadapi cekaman. Salinitas dapat mengganggu keseimbangan air dan ion serta menghambat penyerapan unsur hara, sehingga kondisi tersebut dapat memengaruhi pertumbuhan tanaman. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian ini karena respons diameter batang berbeda pada setiap kombinasi NaCl dan PGPR. Pada NaCl 2.000 ppm, K1M3 memiliki diameter 0,41 cm dengan notasi a, sedangkan K1M2 memiliki diameter 0,33 cm dengan notasi b. Pada NaCl 4.000 ppm, K2M3 menghasilkan diameter 0,51 cm dengan notasi a, sedangkan K2M1 dan K2M2 masing-masing sebesar 0,35 dan 0,40 cm dengan notasi b. Dengan demikian, efektivitas PGPR terhadap diameter batang tidak hanya ditentukan oleh dosis PGPR, tetapi juga dipengaruhi oleh tingkat salinitas media.

4.1.4 Bobot Basah dan Kering Tajuk

Bobot basah dan bobot kering tajuk merupakan parameter morfofisiologi yang diamati untuk mengetahui akumulasi biomassa pada bagian tajuk bibit kelapa sawit. Bobot basah menggambarkan biomassa tajuk beserta kandungan air yang terdapat di dalam jaringan tanaman, sedangkan bobot kering menggambarkan biomassa yang tersisa setelah kandungan air dihilangkan melalui proses pengeringan. Selisih antara bobot basah dan bobot kering juga dapat mencerminkan kadar air relatif jaringan tajuk pada saat pengamatan, yang secara tidak langsung berkaitan dengan status hidrasi tanaman akibat perlakuan salinitas yang diberikan. Pengamatan dilakukan pada umur 12 MST dengan memisahkan bagian tajuk dari akar, kemudian menimbang bobot basah dan mengeringkan tajuk menggunakan oven hingga diperoleh bobot kering. Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa

interaksi antara konsentrasi NaCl dan dosis PGPR tidak berpengaruh nyata terhadap bobot basah maupun bobot kering tajuk. Rata-rata bobot basah dan bobot kering tajuk bibit kelapa sawit dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 4. Rata-rata Bobot Basah dan Kering Tajuk Tanaman Kelapa Sawit

Perlakuan	Peubah Pengamatan	
	Bobot Basah Tajuk	Bobot Kering Tajuk
K0M0	6.20	1.62
K0M1	7.64	0.77
K0M2	6.97	0.67
K0M3	3.69	1.35
K1M0	6.74	1.16
K1M1	3.18	1.43
K1M2	2.75	1.15
K1M3	5.41	1.98
K2M0	4.74	1.48
K2M1	6.71	1.75
K2M2	5.32	1.72
K2M3	8.29	0.87
Uji F	tn	tn
KK %	64.57	69.45

Keterangan: MST= (Minggu Setelah Tanam), K0= (Kontrol), K1= (NaCl 2000ppm), K2= (NaCl 4000 ppm), K0= (Kontrol), K1= (NaCl 2000ppm), K2= (NaCl 4000 ppm), M0= (Kontrol), M1= (PGPR 30 ml), M2= (PGPR 40 ml), M3= (PGPR 50 ml), (tn)= tidak berbeda nyata pada taraf 5%, KK= Koefesien Keragaman.

Berdasarkan Tabel 5, interaksi antara konsentrasi NaCl dan dosis PGPR tidak berpengaruh nyata (tidak signifikan) terhadap bobot basah maupun bobot kering tajuk bibit kelapa sawit pada umur 12 MST. Pada bobot basah tajuk, nilai rata-rata berkisar antara 2,75–8,29 g, sedangkan bobot kering tajuk berkisar antara 0,67–1,98 g. Secara deskriptif, K2M3 memiliki nilai rata-rata bobot basah sebesar 8,29 g, sedangkan K1M3 memiliki nilai rata-rata bobot kering sebesar 1,98 g. Namun, perbedaan nilai rata-rata tersebut tidak signifikan, sehingga K2M3 maupun K1M3 tidak dapat dinyatakan berbeda nyata atau sebagai perlakuan terbaik dibandingkan kombinasi perlakuan lainnya. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kombinasi NaCl dan PGPR yang diberikan belum menghasilkan respons yang berbeda secara statistik terhadap akumulasi biomassa tajuk.

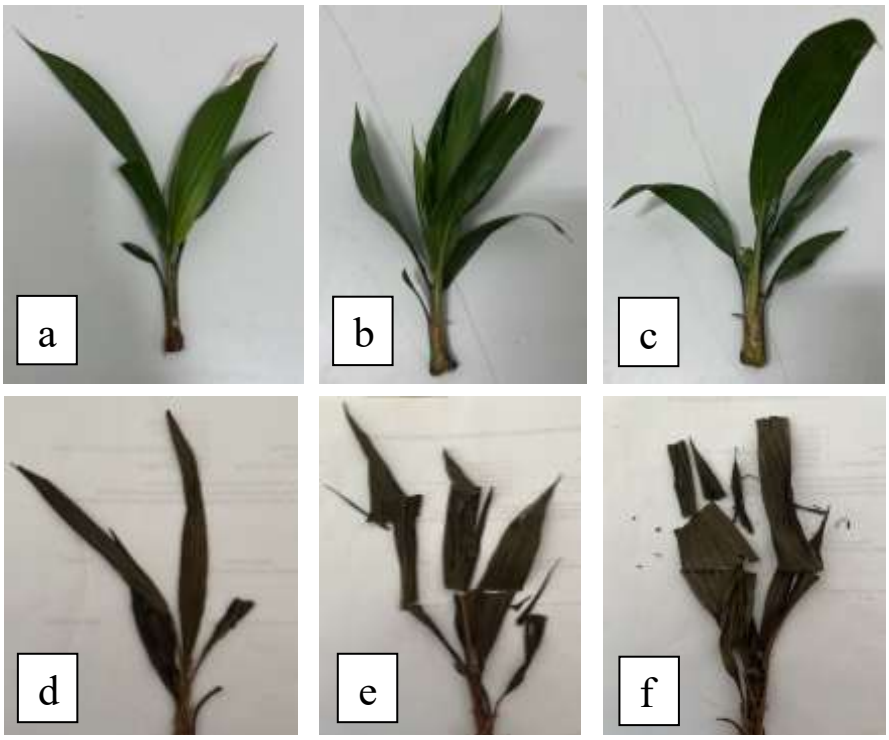
Tidak nyatanya pengaruh perlakuan menunjukkan bahwa perbedaan taraf NaCl dan dosis PGPR belum mampu menghasilkan perbedaan biomassa tajuk yang konsisten pada akhir pengamatan. Hal ini sejalan dengan temuan Hakimnejad *et al*., (2022) yang melaporkan bahwa respons tanaman terhadap salinitas dapat sangat bervariasi antar genotipe maupun antar individu dalam perlakuan yang sama, sehingga pola pertumbuhan yang teramati tidak selalu konsisten mengikuti peningkatan taraf cekaman. Demikian pula, efektivitas PGPR dalam mengatasi cekaman salinitas bersifat *genotype-dependent* dan hanya terlihat nyata pada taraf salinitas sedang, sementara pada kondisi tanpa cekaman maupun cekaman berat manfaatnya menjadi tidak konsisten atau bahkan tidak teramati (Açar *et al*., 2026). Kondisi serupa juga dilaporkan oleh Kibret *et al*., (2024) dalam kajian sistematis mereka, yang menyatakan bahwa kemampuan PGPR memitigasi cekaman salinitas

sangat dipengaruhi oleh interaksi antara strain bakteri, spesies tanaman, dan intensitas cekaman, sehingga hasil antarpenelitian maupun antarperlakuan sering kali tidak seragam. Tingginya nilai Koefisien Keragaman (KK) pada penelitian ini menunjukkan adanya keragaman yang relatif besar antarindividu tanaman dalam masing-masing perlakuan, mengingat nilai KK menggambarkan rasio antara akar kuadrat tengah galat dengan nilai rata-rata umum, sehingga semakin tinggi nilai KK maka semakin rendah tingkat ketelitian suatu percobaan (Hanafiah, 2016). Keragaman tersebut dapat menyebabkan nilai rata-rata antarperlakuan menjadi sangat bervariasi sehingga perbedaan yang terbentuk belum cukup kuat untuk dinyatakan berbeda secara statistik, sebagaimana halnya nilai koefisien keragaman genetik yang tinggi pada karakter bobot buah menunjukkan bahwa keragaman parameter bobot lebih banyak dipengaruhi oleh faktor individu tanaman dibandingkan faktor perlakuan yang diberikan (Sholihatin, 2023). Kondisi tersebut terlihat dari adanya perbedaan nilai bobot antarperlakuan yang cukup lebar, tetapi tidak diikuti dengan pola respons yang konsisten terhadap peningkatan salinitas maupun dosis PGPR, sebagaimana dilaporkan pula pada parameter biomassa tajuk yang menunjukkan pola tidak signifikan berdasarkan hasil uji koefisien regresi meskipun rentang nilai antarperlakuan cukup lebar (Azkiyah dan Tohari, 2019). Dengan demikian, hasil penelitian lebih tepat menunjukkan bahwa variasi individu tanaman pada parameter biomassa tajuk relatif besar dibandingkan dengan respons yang dapat dikaitkan secara statistik dengan perlakuan.

Perbedaan antara bobot basah dan bobot kering tajuk juga menunjukkan bahwa kedua parameter tersebut dipengaruhi oleh komponen yang tidak sepenuhnya sama. Bobot basah sangat dipengaruhi oleh jumlah air yang tersimpan dalam jaringan tanaman, sedangkan bobot kering lebih berkaitan dengan akumulasi bahan organik hasil fotosintesis dan proses metabolisme selama pertumbuhan. Kedua parameter ini pada dasarnya saling berkaitan erat, sebagaimana ditunjukkan pada penelitian kedelai yang menemukan korelasi kuat antara bobot basah dan bobot kering, di mana penurunan bobot basah cenderung diikuti oleh penurunan bobot kering (Alfiandi *et al*., 2022). Namun demikian, pada kondisi salinitas, tanaman mengalami penurunan potensial air media sehingga proses penyerapan dan distribusi air dapat terganggu, sedangkan akumulasi bahan kering lebih dipengaruhi oleh kemampuan tanaman mempertahankan fotosintesis dan penggunaan hasil asimilasi. Oleh karena itu, perubahan kandungan air jaringan tidak selalu diikuti oleh perubahan bobot kering dalam proporsi yang sama. Hal tersebut dapat menjelaskan mengapa nilai bobot basah dan bobot kering pada beberapa kombinasi perlakuan dalam penelitian ini tidak menunjukkan pola yang sejajar.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan NaCl hingga 4.000 ppm belum menghasilkan penurunan bobot tajuk yang konsisten secara statistik. Kondisi tersebut sejalan dengan hasil pengamatan pada beberapa parameter vegetatif lainnya, terutama jumlah daun yang juga tidak menunjukkan pengaruh nyata selama periode pengamatan. Namun, tidak adanya pengaruh nyata tidak dapat diartikan bahwa salinitas sama sekali tidak memberikan tekanan terhadap tanaman, karena respons tanaman terhadap salinitas dapat berbeda antarparameter. Penelitian Djukri (2009) pada tanaman jagung menunjukkan bahwa cekaman NaCl dapat memengaruhi bobot basah dan bobot kering dengan tingkat perubahan yang berbeda, yang menunjukkan bahwa status air dan akumulasi bahan kering dapat

memberikan respons yang tidak sama terhadap cekaman salinitas. Bobot basah dan kering tajuk tanaman kelapa sawit dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 1. Bobot Basah Tajuk, (a) K0M0, (b) K1M3, (c) K2M3 dan bobot kering tajuk, (d) K0M0, (e) K1M3, (f) K2M3.

4.1.5 Bobot Basah dan Kering Akar

Bobot basah dan bobot kering akar merupakan parameter morfofisiologi yang diamati untuk mengetahui perkembangan biomassa sistem perakaran bibit kelapa sawit. Bobot basah akar menunjukkan berat akar beserta kandungan air yang terdapat dalam jaringan akar, sedangkan bobot kering akar menggambarkan akumulasi bahan kering yang terbentuk pada jaringan akar setelah kandungan air dihilangkan. Pengamatan dilakukan pada umur 12 MST dengan memisahkan akar dari bagian tajuk, kemudian menimbang bobot basah akar dan mengeringkannya untuk memperoleh bobot kering akar. Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa interaksi konsentrasi NaCl dan dosis PGPR tidak berpengaruh nyata terhadap bobot basah maupun bobot kering akar bibit kelapa sawit. Rata-rata bobot basah dan bobot kering akar dapat dilihat pada Tabel 6

Tabel 5. Rata-rata Bobot Basah dan Kering Akar Tanaman Kelapa Sawit

Perlakuan	Peubah Pengamatan	
	Bobot Basah Akar	Bobot Kering Akar
K0M0	1.75	0.50
K0M1	2.01	0.56
K0M2	2.01	0.65
K0M3	1.07	0.30
K1M0	2.06	0.60
K1M1	0.69	0.24

Perlakuan	Peubah Pengamatan	
	Bobot Basah Akar	Bobot Kering Akar
K1M2	0.66	0.21
K1M3	1.64	0.48
K2M0	1.26	0.41
K2M1	1.89	0.55
K2M2	1.46	0.40
K2M3	1.68	0.51
Uji F	tn	tn
KK %	66.68	65.32

Keterangan: MST= (Minggu Setelah Tanam), K0= (Kontrol), K1= (NaCl 2000ppm), K2= (NaCl 4000 ppm), K0= (Kontrol), K1= (NaCl 2000ppm), K2= (NaCl 4000 ppm), M0= (Kontrol), M1= (PGPR 30 ml), M2= (PGPR 40 ml), M3= (PGPR 50 ml), (tn)= tidak berbeda nyata pada taraf 5%, KK= Koefesien Keragaman.

Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 6, interaksi konsentrasi NaCl dan dosis PGPR tidak berpengaruh nyata terhadap bobot basah maupun bobot kering akar pada umur 12 MST. Bobot basah akar menunjukkan nilai rata-rata antara 0,66–2,06 g, sedangkan bobot kering akar berada pada kisaran 0,21–0,65 g. Secara deskriptif, K1M0 memiliki bobot basah akar sebesar 2,06 g dan K0M2 memiliki bobot kering akar sebesar 0,65 g. Namun, karena hasil uji F menunjukkan tidak signifikan, perbedaan nilai tidak dapat dinyatakan sebagai perbedaan respons yang nyata antar perlakuan. Dengan demikian, kombinasi NaCl dan PGPR yang diberikan belum memberikan pengaruh yang konsisten terhadap pembentukan biomassa akar bibit kelapa sawit.

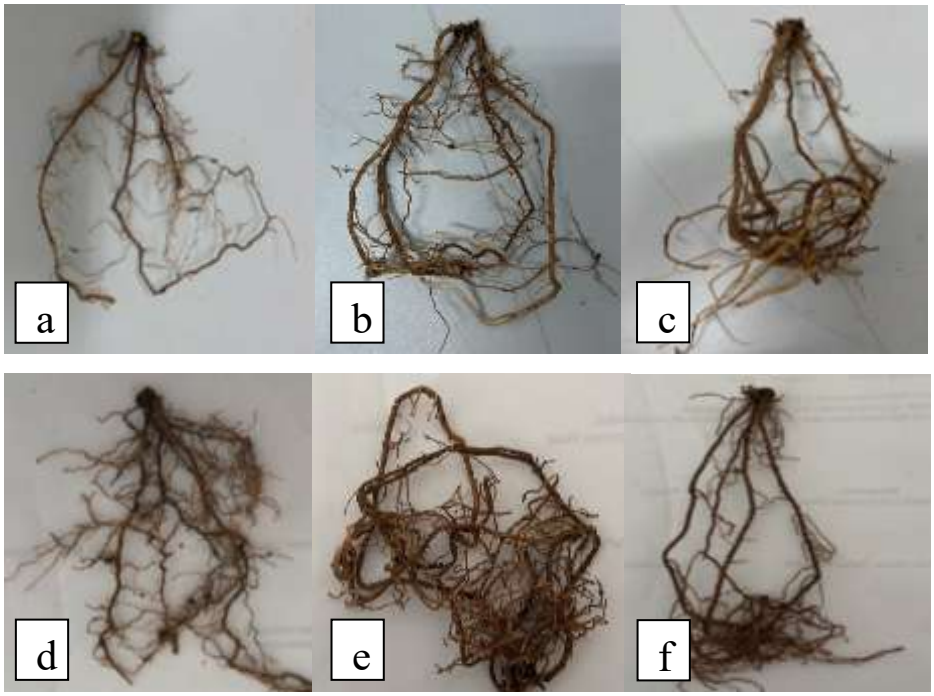
Tidak adanya pengaruh nyata terhadap bobot basah dan bobot kering akar diduga karena sistem perakaran bibit kelapa sawit pada fase *pre nursery* masih berada pada tahap perkembangan awal dan memiliki kemampuan adaptasi terhadap perubahan kondisi media. Pada fase ini, akar primer dan akar lateral masih dalam proses pemanjangan dan diferensiasi jaringan, sehingga fluktuasi kondisi media akibat penambahan NaCl belum tentu langsung menghambat pertumbuhan sel-sel akar secara permanen, melainkan lebih banyak direspons melalui mekanisme adaptasi sementara seperti penyesuaian tekanan turgor sel. Pemberian NaCl dapat meningkatkan konsentrasi garam dalam media sehingga meningkatkan tekanan osmotik dan menyebabkan air lebih sulit diserap oleh akar, sejalan dengan penjelasan bahwa lingkungan bersalinitas tinggi menyebabkan sel tanaman perlu menyesuaikan potensial air internalnya melalui komponen potensial osmotik dan tekanan turgor agar tetap setara dengan potensial air lingkungan (Bastomi, 2018).

Penyesuaian osmotik semacam ini pada dasarnya adalah salah satu bentuk toleransi tanaman terhadap cekaman salinitas taraf rendah hingga sedang, sehingga akar masih dapat menyerap air dalam jumlah yang cukup meskipun tidak optimal, dan hal ini dapat menjelaskan mengapa bobot akar antar taraf NaCl pada penelitian ini tidak menunjukkan penurunan yang konsisten. Selain itu, keberadaan ion Na^+ dan Cl^- dalam jumlah tinggi dapat mengganggu keseimbangan ion serta penyerapan unsur hara yang dibutuhkan untuk pembentukan biomassa akar, terutama karena ion Na^+ dapat berkompetisi dengan ion K^+ pada tapak penyerapan di membran sel akar sehingga transportasi hara esensial dapat sedikit terhambat meskipun belum sampai pada taraf yang mengganggu pertumbuhan secara nyata. Di sisi lain, PGPR dapat membantu meningkatkan ketersediaan dan pemanfaatan unsur hara serta

mendukung perkembangan akar melalui kolonisasi di daerah rizosfer, di antaranya dengan mensintesis fitohormon seperti IAA, giberelin, dan sitokinin yang berperan dalam pemanjangan sel dan pembentukan akar lateral (Jannah, 2022), tetapi respons tersebut dapat berbeda bergantung pada kondisi salinitas dan dosis PGPR yang diberikan. Apabila kondisi media akibat cekaman NaCl kurang mendukung aktivitas mikroorganisme, maka manfaat fitohormon yang dihasilkan PGPR pun tidak dapat termanifestasi secara maksimal pada pertumbuhan akar. Oleh karena itu, pemberian PGPR pada penelitian ini belum menghasilkan peningkatan bobot akar yang konsisten pada seluruh tingkat salinitas.

Kondisi tersebut sejalan dengan penelitian pemberian PGPR dari rhizosfer akar bambu pada bibit kelapa sawit di main nursery, yang menunjukkan bahwa jenis PGPR akar bambu tidak memberikan pengaruh nyata terhadap seluruh parameter pertumbuhan yang diamati, termasuk bobot segar dan bobot kering akar, baik pada media tanah gambut maupun mineral (Lubis, 2025). Hal ini menunjukkan bahwa respons tanaman terhadap aplikasi PGPR sangat bergantung pada kemampuan bakteri untuk beradaptasi dan mempertahankan aktivitasnya di daerah perakaran pada kondisi media tertentu, sehingga keberadaan PGPR tidak selalu menghasilkan peningkatan biomassa akar yang nyata apabila kondisi media atau salinitas masih membatasi proses penyerapan air dan unsur hara oleh tanaman. Dengan kata lain, keberhasilan PGPR dalam mendukung pertumbuhan akar bukan hanya ditentukan oleh keberadaan bakteri itu sendiri, tetapi juga oleh kesesuaian kondisi lingkungan perakaran bagi kelangsungan hidup dan aktivitas metabolik bakteri tersebut, sehingga pada media yang kurang mendukung, populasi PGPR dapat menurun sebelum sempat memberikan manfaat yang optimal bagi perkembangan akar bibit.

Selain itu, penelitian cekaman salinitas NaCl pada kacang tunggak juga melaporkan bahwa peningkatan konsentrasi garam memberikan kecenderungan pengaruh terhadap bobot basah tanaman, tetapi belum mencapai taraf nyata secara statistik, sedangkan pengaruhnya terhadap bobot kering bahkan lebih kecil dan juga tidak nyata (Junandi *et al*., 2019), yang memperkuat dugaan bahwa gangguan keseimbangan ion akibat salinitas tidak selalu langsung tercermin dalam bentuk perbedaan bobot yang signifikan pada taraf cekaman yang masih tergolong sedang. Pola tersebut juga memperlihatkan bahwa parameter bobot basah dan bobot kering akar cenderung lebih lambat merespons cekaman salinitas dibandingkan parameter morfologi lain seperti panjang akar atau jumlah akar lateral, karena perubahan bobot baru akan terlihat nyata apabila cekaman telah berlangsung cukup lama atau taraf konsentrasi garam sudah cukup tinggi untuk mengganggu proses fisiologis secara signifikan. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang menunjukkan bahwa terdapat variasi nilai rata-rata bobot basah dan bobot kering akar antar kombinasi perlakuan, tetapi variasi tersebut tidak signifikan secara statistik. Dengan demikian, perbedaan nilai bobot akar yang diperoleh diduga merupakan respons tanaman terhadap kondisi salinitas dan pemberian PGPR, tetapi belum menunjukkan respons yang konsisten sehingga secara statistik interaksi NaCl dan PGPR tidak berpengaruh nyata terhadap bobot basah maupun bobot kering akar pada umur 12 MST. Bobot basah dan kering akar tanaman kelapa sawit dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 2. Bobot Basah Akar, (a) K0M0, (b) K1M3, (c) K2M3 dan Bobot Kering Akar, (d) K0M0, (e) K1M3, (f) K2M3

4.1.6 Panjang Akar

Panjang akar merupakan salah satu parameter morfologi yang diamati untuk mengetahui perkembangan sistem perakaran bibit kelapa sawit dalam merespons kondisi media tumbuh. Perkembangan panjang akar berkaitan dengan kemampuan akar dalam memperluas daerah eksplorasi media sehingga mendukung penyerapan air dan unsur hara yang dibutuhkan tanaman. Berdasarkan hasil pengamatan, Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa interaksi antara konsentrasi NaCl dan dosis PGPR tidak berpengaruh nyata terhadap panjang akar bibit kelapa sawit pada umur 12 MST. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi perlakuan yang diberikan belum menghasilkan perbedaan panjang akar yang cukup besar secara statistik. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa respons pertumbuhan akar pada masing-masing perlakuan masih relatif sama, sehingga perbedaan nilai rata-rata yang terbentuk belum menunjukkan pengaruh yang nyata. Rata-rata panjang akar pada masing-masing kombinasi perlakuan dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 6. Interaksi NaCl dan PGPR Terhadap Panjang Akar Bibit Kelapa Sawit

Perlakuan	Panjang Akar (cm)			
	M0	M1	M2	M3
K0	26.20	24.63	28.56	21.70
K1	28.36	27.96	19.76	17.50
K2	26.40	27.70	25.73	28.70
Uji F	tn			
KK (%)	27.86			
Pr (> F)	0.5309			

Keterangan: MST= (Minggu Setelah Tanam), K0= (Kontrol), K1= (NaCl 2000ppm), K2= (NaCl 4000 ppm), K0= (Kontrol), K1= (NaCl 2000ppm), K2= (NaCl 4000 ppm), M0= (Kontrol), M1= (PGPR 30 ml), M2= (PGPR 40 ml), M3= (PGPR 50 ml), (tn)= tidak berbeda nyata pada taraf 5%, KK= Koefesien Keragaman.

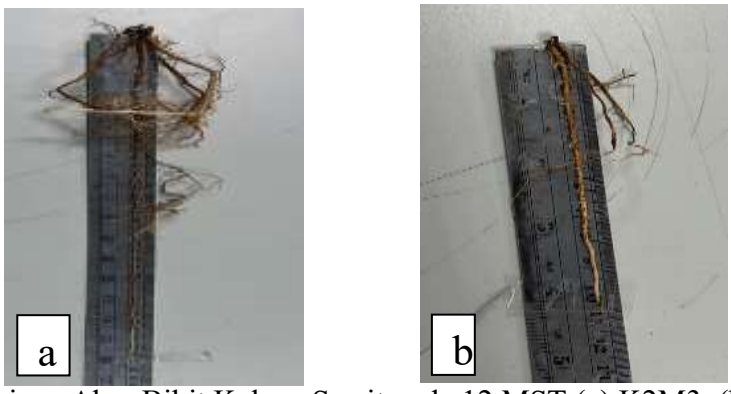
Berdasarkan data pada Tabel 9, panjang akar bibit kelapa sawit pada masing-masing perlakuan berkisar antara 17,50 cm hingga 28,70 cm. Rata-rata panjang akar tertinggi terdapat pada perlakuan K2M3 (NaCl 4.000 ppm + PGPR 50 mL), yaitu 28,70 cm, sedangkan rata-rata panjang akar terendah terdapat pada perlakuan K1M3 (NaCl 2.000 ppm + PGPR 50 mL), yaitu 17,50 cm. Meskipun terdapat perbedaan nilai rata-rata antar kombinasi perlakuan, hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa interaksi NaCl dan PGPR tidak berpengaruh nyata, dengan nilai Pr (> F) sebesar 0,5309, lebih besar dari 0,05. Nilai KK sebesar 27,86% menunjukkan adanya variasi antar tanaman, sehingga perbedaan nilai rata-rata tersebut belum cukup konsisten untuk menghasilkan perbedaan yang signifikan secara statistik.

Tidak berpengaruh nyatanya perlakuan terhadap panjang akar diduga karena bibit kelapa sawit pada fase *pre nursery* masih memiliki kemampuan adaptasi terhadap kondisi media tumbuh, termasuk terhadap cekaman salinitas. Pemberian NaCl dapat meningkatkan konsentrasi garam dalam media sehingga meningkatkan tekanan osmotik dan menyebabkan tanaman mengalami kesulitan dalam menyerap air (Nasrudin dan Fahmi, 2022). Selain itu, peningkatan ion Na^+ dan Cl^- dapat mengganggu keseimbangan ion di daerah perakaran serta memengaruhi penyerapan unsur hara. Namun, kondisi tersebut belum tentu langsung menyebabkan perubahan panjang akar karena tanaman memiliki mekanisme adaptasi untuk mempertahankan pertumbuhan akar (Utama dan Haryoko, 2019). Di sisi lain, PGPR dapat membantu tanaman melalui peningkatan ketersediaan dan pemanfaatan unsur hara serta stimulasi pertumbuhan akar, tetapi respons tersebut dapat berbeda bergantung pada kondisi lingkungan dan kemampuan PGPR beradaptasi pada daerah perakaran (Azzahra *et al*., 2021). PGPR yang berkoloni di daerah perakaran dapat membantu menyediakan unsur hara dalam bentuk yang lebih tersedia bagi tanaman sehingga mendukung pertumbuhan dan perkembangan akar. Namun, respons tersebut dapat berbeda bergantung pada kondisi lingkungan dan kemampuan PGPR beradaptasi pada daerah perakaran (Kusrachdiyanti *et al*., 2020). Dengan demikian, perbedaan panjang akar yang muncul pada penelitian ini belum cukup konsisten untuk menghasilkan pengaruh yang nyata.

Hasil penelitian ini sejalan dengan Anindyajati *et al.,* (2021) yang melaporkan bahwa respons tanaman terhadap cekaman salinitas pada fase bibit dapat berbeda bergantung pada kemampuan adaptasi tanaman. Salinitas dapat memberikan tekanan terhadap pertumbuhan melalui gangguan penyerapan air dan keseimbangan ion, tetapi tingkat pengaruhnya tidak selalu sama pada setiap tanaman. Kondisi tersebut mendukung hasil penelitian ini karena meskipun konsentrasi NaCl berbeda, panjang akar tidak menunjukkan perbedaan yang nyata secara statistik. Bibit kelapa sawit diduga masih mampu mempertahankan pertumbuhan akar melalui mekanisme adaptasi terhadap kondisi salinitas pada fase awal pertumbuhan.

Selain itu, Wiyono *et al.,* (2023) menunjukkan bahwa efektivitas PGPR dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman dapat dipengaruhi oleh galur atau jenis PGPR yang digunakan. Kemampuan PGPR dalam beradaptasi dan berkolonisasi pada daerah perakaran menjadi salah satu faktor yang menentukan keberhasilannya dalam mendukung pertumbuhan tanaman. Hal tersebut didukung oleh Suwarto dan Hilmi (2023) yang menunjukkan bahwa aplikasi *Bacillus subtilis* sebagai PGPR dapat memberikan respons terhadap beberapa parameter pertumbuhan tanaman,

tetapi respons tersebut dapat dipengaruhi oleh konsentrasi dan karakteristik bakteri yang digunakan. Dengan demikian, tidak adanya pengaruh nyata terhadap panjang akar dalam penelitian ini diduga karena respons PGPR terhadap kondisi media salinitas belum cukup konsisten untuk menghasilkan perbedaan panjang akar yang nyata pada umur 12 MST. Panjang akar dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 3. Panjang Akar Bibit Kelapa Sawit pada 12 MST (a) K2M3, (b) K1M3

4.2 Analisis Fisiologi Bibit Kelapa Sawit

4.2.1 Kadar Air Tajuk

Kadar air tajuk merupakan salah satu parameter fisiologis yang digunakan untuk mengetahui kemampuan tanaman dalam mempertahankan kandungan air di dalam jaringan tajuk selama pertumbuhan, terutama pada kondisi cekaman salinitas. Pengamatan kadar air tajuk dilakukan pada bibit kelapa sawit umur 12 MST untuk mengetahui respons tanaman terhadap kombinasi konsentrasi NaCl dan dosis *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR). Berdasarkan hasil analisis sidik ragam menggunakan STAR, interaksi antara konsentrasi NaCl dan dosis PGPR tidak memberikan pengaruh nyata terhadap kadar air tajuk bibit kelapa sawit. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi perlakuan yang diberikan belum menyebabkan perbedaan kadar air tajuk yang cukup besar secara statistik. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kadar air tajuk bibit kelapa sawit pada masing-masing perlakuan masih berada pada kisaran yang relatif sama. Data selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Interaksi NaCl dan PGPR Terhadap Kadar Air BBT dan BKT

Perlakuan	Kadar Air %			
	M0	M1	M2	M3
K0	76.16	78.29	74.94	76.49
K1	76.52	75.68	75.46	75.84
K2	75.96	76.62	78.47	76.94
Uji F	tn			
KK (%)	3.17			
Pr (> F)	0.6049			

Keterangan: MST= (Minggu Setelah Tanam), K0= (Kontrol), K1= (NaCl 2000ppm), K2= (NaCl 4000 ppm), K0= (Kontrol), K1= (NaCl 2000ppm), K2= (NaCl 4000 ppm), M0= (Kontrol), M1= (PGPR 30 ml), M2= (PGPR 40 ml), M3= (PGPR 50 ml), (tn)= tidak berbeda nyata pada taraf 5%, KK= Koefesien Keragaman.

Berdasarkan data pada Tabel 7, kadar air tajuk bibit kelapa sawit pada seluruh kombinasi perlakuan berkisar antara 74,94–78,47%. Nilai kadar air tajuk

tertinggi diperoleh pada perlakuan K2M2, yaitu sebesar 78,47%, sedangkan nilai terendah terdapat pada perlakuan K0M2, yaitu sebesar 74,94%. Meskipun terdapat perbedaan nilai rata-rata antar kombinasi perlakuan, hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa interaksi NaCl dan PGPR tidak berpengaruh nyata, dengan nilai Pr (> F) sebesar 0,6049, lebih besar dari taraf 5% (0,05). Nilai KK sebesar 3,17% juga menunjukkan bahwa keragaman data relatif rendah. Dengan demikian, perbedaan kadar air tajuk yang terlihat secara deskriptif belum dapat dinyatakan sebagai akibat dari kombinasi perlakuan NaCl dan PGPR.

Tidak adanya pengaruh nyata terhadap kadar air tajuk diduga karena bibit kelapa sawit pada fase *pre nursery* masih mampu melakukan penyesuaian fisiologis dalam mempertahankan keseimbangan air jaringan. Kondisi ini sejalan dengan temuan Nugroho *et al*., (2022) pada bibit kelapa sawit di main nursery yang mengalami cekaman kekeringan, di mana tanaman masih menunjukkan kemampuan mempertahankan performa pertumbuhannya sepanjang tingkat cekaman belum melampaui batas toleransinya, terutama setelah diberi tambahan biostimulan seperti PGPR. Hal serupa juga dilaporkan oleh Wagino *et al*., (2018) yang mengevaluasi respons pertumbuhan bibit kelapa sawit varietas Dxp Dumpy pada kondisi stres air di pembibitan awal, yang menunjukkan bahwa bibit kelapa sawit memiliki kemampuan adaptasi fisiologis tertentu terhadap gangguan ketersediaan air sebelum gejala kerusakan yang lebih nyata muncul pada parameter pertumbuhannya. Peningkatan konsentrasi NaCl dapat menurunkan potensial air media sehingga tanaman menghadapi kondisi yang lebih sulit dalam menyerap air. Namun, tanaman memiliki mekanisme osmoregulasi dan pengaturan keseimbangan ion untuk mempertahankan tekanan turgor dan kandungan air jaringan. Hal ini turut didukung oleh hasil pengujian Sari *et al*., (2019) terhadap sepuluh klon tebu yang diberi cekaman NaCl, yang menunjukkan bahwa seluruh klon tebu yang diuji masih mampu tumbuh pada kondisi salin meskipun mengalami penurunan pertumbuhan, yang mengindikasikan adanya mekanisme adaptasi internal tanaman perkebunan dalam menghadapi tekanan osmotik akibat garam.

PGPR dapat membantu tanaman menghadapi cekaman salinitas melalui perbaikan kondisi rizosfer, peningkatan penyerapan unsur hara, serta pengaturan keseimbangan ion, tetapi pengaruh tersebut tidak selalu secara langsung meningkatkan kadar air tajuk. Astija *et al*., (2022) yang menguji beberapa jenis PGPR asal akar bambu, kacang hijau, dan putri malu pada bibit kelapa sawit melaporkan bahwa pengaruh PGPR terhadap parameter pertumbuhan bibit tidak selalu konsisten pada semua peubah yang diamati, melainkan bergantung pada jenis isolat bakteri dan kondisi media tanam yang digunakan. Ronatama *et al*., (2024) dalam penelitiannya terhadap pemberian solid dan beberapa jenis PGPR pada bibit kelapa sawit di *pre nursery* juga melaporkan bahwa tidak semua parameter pertumbuhan maupun fisiologis bibit menunjukkan pengaruh nyata akibat kombinasi perlakuan yang diberikan, sehingga kestabilan suatu parameter di antara kombinasi perlakuan bukan hal yang jarang terjadi pada fase pembibitan awal kelapa sawit. Sejalan dengan itu, Irfan *et al*., (2025) yang membandingkan PGPR dari rizosfer jenis bambu yang berbeda pada bibit kelapa sawit main nursery menemukan bahwa efektivitas PGPR dalam mendukung pertumbuhan bibit sangat bergantung pada jenis rizosfer asal isolat serta jenis media tanam yang digunakan, sehingga hasilnya tidak selalu seragam pada seluruh parameter pengamatan termasuk parameter yang berkaitan dengan status air tanaman. Kondisi tersebut

menyebabkan kadar air tajuk pada penelitian ini relatif stabil meskipun konsentrasi NaCl dan dosis PGPR berbeda.

Hasil penelitian ini sejalan dengan Abbas *et al*., (2024) yang menjelaskan bahwa respons tanaman terhadap aplikasi PGPR pada kondisi salinitas dipengaruhi oleh tingkat cekaman dan kemampuan tanaman dalam mempertahankan keseimbangan air. PGPR dapat membantu tanaman menghadapi cekaman salinitas melalui berbagai mekanisme fisiologis, tetapi tingkat keberhasilannya bergantung pada interaksi antara tanaman, mikroorganisme, dan kondisi lingkungan. Dengan demikian, tidak semua aplikasi PGPR menghasilkan perubahan yang nyata pada status air tanaman. Hal ini juga selaras dengan kondisi yang ditemukan pada bibit kelapa sawit di penelitian ini, mengingat karakter respons yang tidak seragam terhadap PGPR juga dilaporkan pada komoditas perkebunan lain seperti kelapa sawit dan tebu sebagaimana diuraikan di atas. Selain itu, Hasanuzzaman *et al*., (2024) menyatakan bahwa tanaman yang menghadapi salinitas dapat mempertahankan status air melalui mekanisme penyesuaian osmotik dan pengaturan keseimbangan ion. Mekanisme tersebut memungkinkan tanaman mempertahankan kandungan air jaringan meskipun terjadi perubahan potensial air pada media tumbuh. Hal ini juga terlihat pada hasil pengujian toleransi salinitas klon-klon tebu oleh Sari *et al*. (2019), yang menunjukkan bahwa penurunan pertumbuhan akibat cekaman garam tidak serta-merta menyebabkan kegagalan tumbuh, melainkan tanaman tetap dapat bertahan pada kisaran cekaman tertentu berkat mekanisme penyesuaian internalnya. Hal tersebut mendukung hasil penelitian ini, karena kadar air tajuk pada seluruh kombinasi perlakuan relatif berada pada kisaran yang sama dan secara statistik tidak menunjukkan pengaruh nyata.

4.2.2 Kadar Air Akar

Kadar air akar digunakan untuk menggambarkan kemampuan sistem perakaran dalam mempertahankan kandungan air selama tanaman mengalami cekaman lingkungan. Pengamatan dilakukan pada umur 12 MST untuk mengetahui respons akar bibit kelapa sawit terhadap kombinasi konsentrasi NaCl dan dosis PGPR. Berdasarkan hasil analisis sidik ragam menggunakan STAR, interaksi antara konsentrasi NaCl dan dosis PGPR tidak memberikan pengaruh nyata terhadap kadar air akar bibit kelapa sawit. Data selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Interaksi NaCl dan PGPR Terhadap Kadar Air BBA dan BKA

Perlakuan	Kadar Air %			
	M0	M1	M2	M3
K0	70.31	73.78	68.94	71.46
K1	57.99	64.90	68.36	71.46
K2	68.32	70.11	74.00	70.11
Uji F	tn			
KK (%)	13.00			
Pr (> F)	0.8089			

Keterangan: MST= (Minggu Setelah Tanam), K0= (Kontrol), K1= (NaCl 2000ppm), K2= (NaCl 4000 ppm), K0= (Kontrol), K1= (NaCl 2000ppm), K2= (NaCl 4000 ppm), M0= (Kontrol), M1= (PGPR 30 ml), M2= (PGPR 40 ml), M3= (PGPR 50 ml), (tn)= tidak berbeda nyata pada taraf 5%, KK= Koefesien Keragaman.

Berdasarkan data pada Tabel 8, menunjukkan bahwa nilai kadar air akar pada setiap kombinasi perlakuan. Nilai tertinggi diperoleh pada kombinasi perlakuan K2M2, yaitu sebesar 74,00%, sedangkan nilai terendah terdapat pada kombinasi perlakuan K1M0, yaitu sebesar 57,99%. Walaupun terdapat perbedaan nilai rata-rata antar perlakuan, hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa interaksi NaCl dan PGPR tidak berpengaruh nyata, dengan nilai Pr (> F) sebesar 0,8089, yang lebih besar dari 0,05. Nilai KK sebesar 13,00% menunjukkan adanya keragaman data, tetapi perbedaan tersebut belum cukup besar untuk menghasilkan pengaruh yang signifikan secara statistik.

Tidak adanya pengaruh nyata terhadap kadar air akar diduga berkaitan dengan kemampuan akar melakukan penyesuaian morfofisiologi ketika menghadapi kondisi salin. Akar merupakan organ pertama yang berinteraksi dengan larutan tanah sehingga memiliki mekanisme untuk mengatur keseimbangan ion dan mempertahankan tekanan turgor sel. Hal ini didukung oleh Firmansyah (2018) yang menemukan bahwa peningkatan salinitas pada bibit kelapa sawit tidak selalu mengubah proporsi jaringan penyusun akar secara konsisten, sehingga struktur akar masih dapat mempertahankan fungsinya sebelum benar-benar mengalami kerusakan akibat cekaman. Selain itu, Meriem (2020) menjelaskan bahwa akar merupakan organ yang pertama kali mengaktifkan mekanisme pertahanan terhadap salinitas melalui akumulasi prolin, yang berperan sebagai osmoregulator dan osmoprotektan dalam mempertahankan tekanan turgor sel sekaligus menjaga status air jaringan.

Keberadaan NaCl meningkatkan tekanan osmotik media dan dapat menghambat penyerapan air, tetapi pada tingkat cekaman yang diberikan dalam penelitian ini, bibit kelapa sawit diduga masih mampu mempertahankan hidrasi jaringan akar. Sementara itu, PGPR lebih banyak berperan dalam membantu tanaman menghadapi cekaman melalui perbaikan lingkungan rizosfer, keseimbangan ion, dan pemanfaatan unsur hara sehingga pengaruhnya terhadap kadar air akar tidak selalu terlihat secara langsung. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Septiani *et al*., (2024) yang menunjukkan bahwa efektivitas PGPR dalam menekan dampak salinitas lebih ditentukan oleh kemampuannya menjaga rasio Na^+/K^+ tetap rendah pada jaringan tanaman, bukan oleh peningkatan kandungan air jaringan secara langsung. Pola pengaruh PGPR yang tidak seragam pada seluruh parameter pertumbuhan bibit kelapa sawit juga dilaporkan oleh Ronatama *et al*., (2024), di mana PGPR berpengaruh nyata terhadap tinggi tanaman, diameter batang, dan luas daun, tetapi tidak pada semua peubah yang diamati. Bahkan secara lebih spesifik, Valerianinfo *et al*., (2023) melaporkan bahwa aplikasi PGPR tidak berpengaruh nyata terhadap berat segar akar bibit kelapa sawit di *pre nursery*, yang secara langsung mencerminkan kandungan air yang tersimpan pada jaringan akar, meskipun parameter panjang dan volume akar tetap menunjukkan perbedaan nyata. Hasil penelitian ini didukung oleh Shultana *et al*., (2022) yang menjelaskan bahwa PGPR lebih berperan dalam meningkatkan toleransi tanaman terhadap salinitas melalui perbaikan arsitektur akar, keseimbangan ion, dan aktivitas fisiologis dibandingkan meningkatkan kandungan air jaringan secara langsung. Selain itu, Zou *et al*., (2022) menyatakan bahwa akar tanaman memiliki plastisitas yang tinggi terhadap cekaman salinitas sehingga mampu melakukan penyesuaian pertumbuhan dan fungsi fisiologis untuk mempertahankan keseimbangan air serta keberlangsungan metabolisme tanaman. Hal tersebut sesuai dengan hasil penelitian

ini karena meskipun terdapat perbedaan kadar air akar secara deskriptif, kombinasi NaCl dan PGPR belum menghasilkan perubahan yang nyata secara statistik pada umur 12 MST.

4.2.3 Analisis Klorofil

Daun berperan penting dalam fotosintesis karena mengandung klorofil yang menangkap energi cahaya. Kandungan klorofil diamati untuk mengetahui respons fisiologis bibit kelapa sawit terhadap pemberian *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR). Hasil analisis sidik ragam menggunakan STAR menunjukkan bahwa PGPR berpengaruh sangat nyata terhadap kandungan klorofil a, klorofil total, dan karoten, serta berpengaruh nyata terhadap klorofil b pada bibit kelapa sawit umur 12 MST. Rata-rata kandungan klorofil a, b, total, dan karoten disajikan pada Tabel 10.

Tabel 9. Jumlah Klorofil a, Klorofil b, Klorofil Total dan Klorofil Karoten pada Tanaman Kelapa Sawit.

Perlakuan	12 MST			
	Klorofil a	Klorofil b	Klorofil Total	Karoten
M0	8.48 ab	2.87 bc	16.54 ab	2.41 bc
M1	9.77 a	3.32 a	19.07 a	2.66 a
M2	8.99 a	3.25 ab	17.61 a	2.61 ab
M3	7.33 b	2.77 c	14.46 b	2.34 c
Uji F	**	*	**	*
KK (%)	16.71	14.29	16.41	10.06
Pr (> F)	0.00	0.02	0.01	0.03

Keterangan: MST= (Minggu Setelah Tanam), M0= (Kontrol), M1= (PGPR 30 ml), M2= (PGPR 40 ml), M3= (PGPR 50 ml), (**)= berbeda sangat nyata pada taraf 5%, (*)= berbeda nyata pada taraf 5%, (tn)= tidak berbeda nyata pada taraf 5%, KK= Koefesien Keragaman.

Berdasarkan Tabel 10, kandungan klorofil a tertinggi terdapat pada M1 (PGPR 30 mL) sebesar 9,77 dengan notasi a, diikuti M2 (PGPR 40 mL) sebesar 8,99 dengan notasi a. Kedua perlakuan tersebut tidak berbeda nyata karena memiliki notasi yang sama, sedangkan M0 sebesar 8,48 dengan notasi ab juga tidak berbeda nyata dengan M1, M2, maupun M3 sebesar 7,33 dengan notasi b karena masih memiliki huruf yang sama. Pada klorofil b, M1 menghasilkan nilai tertinggi sebesar 3,32 dengan notasi a dan berbeda nyata dengan M3 sebesar 2,77 dengan notasi c, sedangkan M2 sebesar 3,25 dengan notasi ab dan M0 sebesar 2,87 dengan notasi bc berada pada kelompok peralihan. Kandungan klorofil total tertinggi terdapat pada M1 sebesar 19,07 dan M2 sebesar 17,61, keduanya memiliki notasi a sehingga tidak berbeda nyata, tetapi berbeda nyata dengan M3 sebesar 14,46 yang memiliki notasi b. Pada kandungan karoten, M1 sebesar 2,66 memiliki notasi a, M2 sebesar 2,61 memiliki notasi ab, sedangkan M3 sebesar 2,34 memiliki notasi c. Hasil tersebut menunjukkan bahwa PGPR 30 dan 40 mL menghasilkan nilai kandungan pigmen fotosintetik yang lebih tinggi dibandingkan PGPR 50 mL, dengan M1 memberikan nilai rata-rata tertinggi pada seluruh parameter yang diamati.

Perbedaan kandungan klorofil tersebut diduga berkaitan dengan kemampuan PGPR dalam membantu meningkatkan ketersediaan dan pemanfaatan

unsur hara yang diperlukan dalam pembentukan pigmen fotosintetik. Nitrogen merupakan unsur penting dalam pembentukan klorofil dan protein fotosintetik, sedangkan magnesium merupakan unsur penyusun utama molekul klorofil (Damanhuri *et al.,* 2022). Penelitian tersebut menunjukkan bahwa pengaturan nitrogen berhubungan dengan peningkatan kandungan klorofil tanaman, sedangkan nitrogen juga merupakan unsur penting dalam pembentukan senyawa penyusun dan pendukung proses fotosintesis. Besi juga berperan dalam berbagai proses yang berkaitan dengan pembentukan dan fungsi klorofil. Pemberian PGPR 30 mL diduga berada pada tingkat yang sesuai sehingga aktivitas mikroorganisme di daerah perakaran dapat membantu tanaman memperoleh dan memanfaatkan unsur hara secara lebih efektif. Kondisi tersebut dapat mendukung pembentukan klorofil dan karotenoid sehingga proses fotosintesis dapat berlangsung lebih optimal. Sebaliknya, penurunan nilai pada M3 menunjukkan bahwa peningkatan dosis PGPR tidak selalu diikuti peningkatan kandungan pigmen fotosintetik. Respons PGPR dapat dipengaruhi oleh kesesuaian dosis, kondisi daerah perakaran, serta kemampuan tanaman dalam merespons keberadaan mikroorganisme.

Hasil penelitian ini sejalan dengan Purwanto dan Suharti (2021) yang melaporkan bahwa pemberian PGPR dapat meningkatkan ketersediaan unsur hara dan mendukung peningkatan kandungan klorofil tanaman padi. Peningkatan ketersediaan dan penyerapan unsur hara dapat mendukung pembentukan pigmen fotosintetik yang diperlukan dalam proses fotosintesis. Hal tersebut sesuai dengan hasil penelitian ini, yaitu perlakuan M1 (PGPR 30 mL) menghasilkan nilai rata-rata tertinggi pada klorofil a, klorofil b, klorofil total, dan karoten. Hasil penelitian ini juga didukung oleh Abd El-Mageed *et al*., (2022) yang menunjukkan bahwa aplikasi PGPR dapat meningkatkan kandungan pigmen fotosintetik, termasuk klorofil a dan klorofil b, pada tanaman yang ditanam pada kondisi tanah salin. Peningkatan kandungan pigmen fotosintetik tersebut menunjukkan bahwa PGPR dapat membantu mempertahankan fungsi fisiologis tanaman pada kondisi lingkungan yang kurang menguntungkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan klorofil tidak meningkat secara linier seiring peningkatan dosis PGPR, dengan M1 dan M2 memberikan nilai relatif lebih tinggi dibandingkan M3. Dengan demikian, PGPR 30 mL memberikan respons paling konsisten terhadap kandungan klorofil pada penelitian ini, sedangkan perbedaan nyata ditentukan berdasarkan notasi huruf pada masing-masing parameter.