

Effect of *Priming* Treatment and Aluminum Stress on Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) Seeds Viability

Sahla Sania Hasanatunnisa^{1*} & Darul Zumani¹

¹Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Siliwangi, Tasikmalaya, Indonesia;

Article History

Received : July 05th, 2025

Revised : July 15th, 2025

Accepted : July 30th, 2025

*Corresponding Author:

Sahla Sania Hasanatunnisa,
Program Studi Agroteknologi,
Fakultas Pertanian,
Universitas Siliwangi,
Tasikmalaya, Indonesia;
Email:
sahlash00@gmail.com

Abstract: Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) is recognized as one of important functional food that contributes significantly to fulfilling the nutritional and dietary needs of the population. However, efforts to increase soybean production are often hindered by problems faced by the plants on suboptimal land, particularly on acidic soils that can induce aluminum stress. Seed priming has been identified as a method to enhance seed quality, as it can improve seed viability and performance under stress conditions. This study aims to determine the interaction effect between priming treatment and aluminum stress on soybean seeds viability. The research was conducted in January 2025 at the Production Laboratory, Faculty of Agriculture, Siliwangi University. This research use a factorial randomized complete block design (RCBD) with three replications. The first factor was seed priming using four different solutions: distilled water, KNO₃, PEG₆₀₀₀, and GA₃. The second factor was aluminum stress using AlCl₃·6H₂O consist levels of four concentrations: 0, 121, 242, and 363 ppm. The results showed that interaction effects occurred on germination percentage and vigor index, while no interaction effect on germination speed, radicle length, shoot length, and seedling dry weight. For germination percentage and vigor index parameters, the effects of priming varied depended on the level of aluminum stress. Priming with PEG₆₀₀₀ and GA₃ showed potential in mitigating aluminum stress in soybean and aluminum stress at 242 ppm can still be tolerated by soybean seeds that primed with GA₃.

Keywords: Aluminum Stress, Seed Priming, Seedling, Soybean.

Pendahuluan

Kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) termasuk tanaman pangan jenis polong-polongan dan menjadi salah satu sumber pangan penting penduduk Indonesia (Swastika, 2022). Kedelai dimanfaatkan sebagai komponen barang jadi pangan rumah tangga, industri, dan bermanfaat bagi kesehatan. Kedelai dengan kandungan nutrisi yang tinggi memungkinkan kita mengkategorikannya sebagai sumber makanan fungsional yang potensial karena terdiri dari sekitar 40% protein, 20% minyak, 35% karbohidrat, dan 5% abu (Krisnawati, 2017). Segi kesehatan, kedelai bermanfaat karena antosianin pada kulit kedelai dapat mengurangi kerusakan *low density lipoprotein* (LDL) akibat oksidasi yang merupakan pemicu penyakit jantung koroner (Astuti *et al.*, 2000).

Pemanfaatan kedelai untuk memenuhi peningkatan kebutuhan akan makanan dan bahan

baku industri mendorong kenaikan permintaan kedelai (Ningsih, 2017). Data BPS tahun 2022 menyebutkan bahwa konsumsi per kapita setahun pangan yang terbuat dari kedelai diantaranya tempe dan tahu, pada tahun 2022 adalah sebesar 2,707 kg dan 3,656 kg (Kementrian Pertanian, 2022). Namun, produksi kedelai tidak selalu memenuhi kebutuhan seharusnya, sehingga menyebabkan terjadinya impor. Menurut Neraca Bahan Makanan (NBM), produksi kedelai pada tahun 2022 hanya mencapai 300 ribu ton dari total kebutuhan sebesar 2,8 juta ton sehingga perlu dilakukan impor sebesar 2,5 juta ton untuk memenuhinya (Badan Pangan Nasional, 2024).

Sejumlah kendala menghambat Indonesia dalam meningkatkan produksi kedelai, salah satunya adalah masalah yang dihadapi tanaman kedelai ketika ditanam pada lahan suboptimal khususnya lahan masam (Nurida, Dariah, dan Sutono, 2015). Dari total 143 juta ha lahan kering

di Indonesia, sekitar 108,8 juta ha dikategorikan sebagai lahan kering masam dan dari total 46,1 juta lahan basah di Indonesia 14,9 juta ha termasuk ke dalam lahan basah masam (Mulyani dan Sarwani, 2013). Menurut Kementerian Pertanian (2017) lahan masam merupakan lahan suboptimal paling luas dibandingkan lahan suboptimal lainnya. Pada tanah yang masam, aluminium cenderung mudah larut sehingga dapat berpotensi menyebabkan aluminium larut dalam jumlah tinggi atau disebut dengan cekaman aluminium. Cekaman aluminium dapat menghambat pertumbuhan karena dapat menimbulkan penghambatan elongasi akar akibat kerusakan dinding sel dan akumulasi aluminium pada jaringan akar (Kochian *et al.*, 2015).

Penggunaan benih berkualitas merupakan salah satu aspek penting dalam mengatasi permasalahan penanaman kedelai di lahan sub optimal (Fuqara dan Tanjung, 2023) dan hal ini dapat dicapai dengan meningkatkan viabilitas benih kedelai melalui perlakuan perendaman benih atau umum disebut sebagai *priming*. *Priming* merupakan suatu metode untuk menyiapkan proses metabolisme benih tanpa munculnya plumula atau radikula sehingga benih lebih siap berkecambah (Nawaz *et al.*, 2013). Perlakuan *priming* mampu meningkatkan kemampuan benih untuk berkecambah di lingkungan tercekam, sebagaimana disebutkan dalam penelitian Agustin *et al.*, (2023) bahwa *priming* dapat mengatasi kegagalan perkecambahan sorgum pada cekaman aluminium.

Penelitian yang dilakukan oleh Agustiansyah *et al.*, (2021), *priming* menggunakan KNO_3 dan GA_3 dapat meningkatkan ketahanan benih cabai pada kondisi stres aluminium. Perlakuan *priming* menggunakan Polyethylene glycol (PEG) juga dapat memperbaiki viabilitas benih kedelai ketika terkena stres aluminium selama perkecambahan, sebagaimana hasil penelitian Agustiansyah *et al.*, (2022), *priming* dengan PEG_{6000} menunjukkan respons terbaik dalam meningkatkan vigor benih kedelai dibawah kondisi cekaman aluminium.

Berdasarkan hasil penelusuran tidak banyak ditemukan penelitian mengenai cekaman aluminium dengan taraf berbeda khususnya pada kedelai, maka dilakukan penelitian ini guna mengetahui bagaimana interaksi *priming* dan cekaman aluminium terhadap viabilitas benih kedelai melalui simulasi lingkungan tercekam

dengan perlakuan *priming* menggunakan akuades, KNO_3 , PEG_{6000} , dan GA_3 .

Bahan dan metode

Metode penelitian

Penelitian ini menggunakan RCBD atau rancangan blok lengkap acak faktorial dalam pelaksanaan percobaannya. Faktor pertama adalah perlakuan *priming* (P) yang meliputi empat jenis larutan, yaitu sebagai berikut.

- p_1 = akuades
- p_2 = KNO_3 1%
- p_3 = PEG_{6000} 7,5%
- p_4 = GA_3 50 ppm

Faktor kedua, tingkat cekaman aluminium (C) yang terdiri dari empat taraf, yaitu sebagai berikut.

- c_0 = $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0 ppm
- c_1 = $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 121 ppm
- c_2 = $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 242 ppm
- c_3 = $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 363 ppm

Kedua faktor tersebut, percobaan ini terdiri dari 16 perlakuan antara taraf cekaman dengan jenis *priming* dengan 3 kali ulangan, sehingga terdapat 48 satuan percobaan keseluruhan. Parameter yang diamati pada penelitian ini mencakup:

Parameter penunjang

Parameter penunjang atau pelengkap adalah parameter diamati tanpa pengujian statistik untuk mengidentifikasi setiap faktor luar yang mungkin memengaruhi percobaan. Parameter penunjang pada percobaan ini meliputi suhu dan kelembapan selama percobaan berlangsung serta gangguan hama dan penyakit selama percobaan berlangsung.

Parameter utama

Daya berkecambah

Tujuan dari penghitungan daya berkecambah adalah untuk mengetahui berapa banyak kecambah tumbuh normal pada akhir percobaan. Pengamatan dilakukan pada seluruh benih setiap satuan percobaan dan dihitung menggunakan rumus berikut (Sutopo, 2002).

$$DB (\%) = \frac{\sum \text{Benih yang berkecambah normal}}{\sum \text{Benih yang dikecambahkan}} \quad (1)$$

Kecepatan berkecambah

Pengamatan kecepatan berkecambah bertujuan untuk mengukur seberapa cepat benih kedelai berkecambah yang dinyatakan sebagai persentase per etmal. Kecepatan berkecambah diamati setiap hari pada seluruh benih setiap satuan percobaan dan dihitung dengan rumus berikut (Sutopo, 2002)

$$\sum_{i=1}^n KcT (\% \text{ etmal}) = \frac{\% \text{ Daya berkecambah pada etmal ke-} i}{\text{Pengamatan pada etmal ke-} i} \quad (2)$$

Keterangan:

KcT: kecepatan berkecambah

Etmal: 1 hari

Panjang radikula

Panjang radikula diukur pada akhir pengamatan dengan cara mengambil kecambah dari media lalu diukur menggunakan jangka sorong. Pengamatan dilakukan pada 10% kecambah setiap satuan percobaan dan dipilih secara acak. Panjang radikula diukur dari pangkal atas radikula hingga ke ujung bawah.

Panjang kecambah

Panjang kecambah diukur pada akhir pengamatan dengan cara mengambil kecambah dari media lalu diukur menggunakan jangka sorong. Pengamatan dilakukan pada 10% kecambah setiap satuan percobaan dan dipilih secara acak. Panjang kecambah diukur mulai ujung atas hingga pangkal batang kecambah.

Bobot kering kecambah

Penimbangan bobot kering kecambah dilakukan pada akhir pengamatan. Kecambah diambil dari media lalu dikeringkan dalam oven dengan 50°C. Pengeringan dilakukan 2 x 24 jam hingga kecambah tidak memiliki kandungan air. Penimbangan bobot kering dilakukan dengan menggunakan neraca analitik dan dilakukan pada 10% kecambah setiap satuan percobaan dan dipilih secara acak.

Indeks vigor

Tujuan dari penghitungan indeks vigor adalah untuk mengetahui berapa banyak kecambah yang tumbuh kuat dan serentak pada pengamatan awal. Pengamatan indeks vigor dilakukan dengan mencatat jumlah kecambah vigor pada hari keempat pada seluruh benih setiap satuan percobaan lalu dihitung menggunakan rumus berikut (Megawati, 2022).

$$IV (\%) = \frac{\sum \text{Benih yang berkecambah normal}}{\sum \text{Benih yang dkecambahkan}} \quad (3)$$

Pelaksanaan Percobaan

Persiapan benih

Benih kedelai varietas Denasa 1 didapatkan dari Balai Pengujian Standar Instrumen Tanaman (BSIP) Aneka Kacang Malang, Jawa Timur. Benih kemudian disortasi untuk memilih benih dengan kualitas dan ukuran yang seragam secara kenampakan.

Persiapan larutan dan penerapan perlakuan

Larutan *priming* disiapkan dengan jenis berbeda, yaitu Akuades, KNO₃ 1%, PEG₆₀₀₀ 7,5% dan GA₃ 50 ppm, masing-masing larutan dibuat sebanyak 600 ml. Untuk pengkondisian cekaman, larutan aluminium AlCl₃.6H₂O disiapkan dengan 4 taraf berbeda, yaitu 0 ppm, 121 ppm, 242 ppm, dan 363 ppm, masing-masing taraf cekaman dibuat sebanyak 600 ml. Benih kemudian direndam dalam larutan KNO₃, PEG₆₀₀₀, dan GA₃ selama 12 jam dan akuades selama 14 jam. Pengkondisian cekaman dilakukan dengan cara membasahi kertas merang menggunakan larutan AlCl₃.6H₂O.

Perkecambahan benih

Perkecambahan benih dilakukan menggunakan metode uji diatas kertas (UDK). Sebanyak 100 butir benih dari masing-masing perlakuan diletakkan di atas media kertas merang yang sudah diberi perlakuan cekaman. Baki kemudian diletakkan dalam germinator dan selanjutnya dilakukan pemeliharaan dan pengamatan hingga akhir masa percobaan yaitu 6 hari.

Hasil dan pembahasan

Suhu dan kelembaban udara

Berdasarkan hasil pengamatan, suhu rata-rata adalah sebesar 27,5°C dan kelembapan rata-rata sebesar 69,7%. Suhu dan kelembapan tersebut tidak berbeda jauh dengan syarat optimum untuk perkecambahan kedelai. Menurut Nugroho dan Jumakir (2020) kedelai membutuhkan suhu sebesar 22°C sampai 27°C dan kelembapan rentang 75% sampai 90% untuk perkecambahan yang optimal.

Hama dan Penyakit

Tidak terjadi serangan hama, tetapi terjadi serangan penyakit dengan tingkat serangan rendah. Berdasarkan hasil pengamatan, serangan

penyakit diduga disebabkan oleh jamur sebagaimana menurut Nida dkk. (2021) bahwa kontaminasi benih oleh jamur dicirikan dengan hifa putih yang muncul pada media.

Daya berkecambah

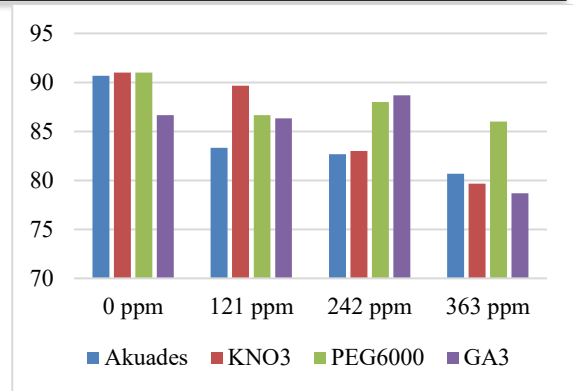
Hasil analisis statistik menunjukkan adanya interaksi antara perlakuan *priming* dengan perlakuan cekaman aluminium terhadap daya berkecambah benih kedelai. Tabel 1 dan Gambar 1 menunjukkan terjadinya penurunan daya berkecambah oleh cekaman aluminium, hal ini diduga berkaitan dengan terhambatnya perkembangan embrio yang kemudian menurunkan daya berkecambah benih. Aluminium dengan jumlah yang tinggi dapat bersifat racun dan merusak dinding sel, permukaan membran plasma, bahkan inti sel (Kochian *et al.*, 2004).

Tabel 1. Pengaruh interaksi antara perlakuan *priming* dan cekaman aluminium terhadap daya berkecambah

<i>Priming</i>	Cekaman aluminium (ppm)			
	0	121	242	363
Akuades	90,67 a B	83,33 a A	82,67 a A	80,67 a A
KNO ₃ (1%)	91,00 a B	89,67 b B	83,00 a A	79,67 a A
PEG ₆₀₀₀ (7,5%)	91,00 a B	86,67 ab AB	88,00 b AB	86,00 b A
GA ₃ (50 ppm)	86,67 a B	86,33 ab B	88,67 b B	78,67 a A

Keterangan: Menurut Uji Rentang Berganda Duncan pada tingkat 5%, tidak ada perbedaan signifikan antara rata-rata angka yang diikuti oleh huruf kapital yang sama secara horizontal dan karakter huruf kecil secara vertikal.

Kerusakan pada komponen-komponen tersebut berakibat pada menurunnya kekuatan sel, terhambatnya proses transportasi, hingga terganggunya replikasi DNA yang berperan penting dalam proses pertumbuhan (Laila, 2021), sehingga diduga cekaman aluminium ini menurunkan daya berkecambah benih kedelai. Hasil ini sejalan dengan penelitian Long *et al.*, (2024) dengan hasil bahwa cekaman aluminium menurunkan daya berkecambah benih *Sophora davidii*.



Gambar 1. Pengaruh perlakuan priming dan cekaman aluminium terhadap daya berkecambah benih kedelai

Perlakuan *priming* menggunakan PEG₆₀₀₀ menunjukkan daya berkecambah paling tinggi, hal tersebut diduga berkaitan dengan kemampuan PEG₆₀₀₀ dalam meningkatkan kemampuan benih untuk berkecambah normal melalui stimulasi cekaman osmotik. *Priming* menggunakan PEG₆₀₀₀ dapat meningkatkan toleransi benih pada kondisi cekaman dengan menstimulasi cekaman osmotik agar akumulasi gula larut dan prolin yang berperan dalam stabilisasi sel meningkat, sehingga membantu benih untuk lebih siap berkecambah dalam kondisi tercekam (Ma *et al.*, 2024). Hasil ini bersesuaian dengan hasil penelitian Draganić dan Lekić (2012) yang menyebutkan bahwa *priming* menggunakan PEG₆₀₀₀ meningkatkan daya berkecambah benih bunga matahari.

Kecepatan berkecambah

Hasil analisis statistik menunjukkan tidak terjadi pengaruh interaksi antara perlakuan *priming* dengan perlakuan cekaman aluminium terhadap kecepatan berkecambah, tetapi perlakuan *priming* dan cekaman aluminium berpengaruh secara mandiri. Tabel 2 maupun Gambar 2 menunjukkan bahwa perlakuan *priming* menggunakan PEG₆₀₀₀ dan GA₃ menghasilkan kecepatan berkecambah yang lebih tinggi dibandingkan perlakuan *priming* menggunakan akuades dan KNO₃, hal ini diduga berkaitan dengan kemampuan PEG₆₀₀₀ yang dapat membantu benih dalam meningkatkan metabolisme benih.

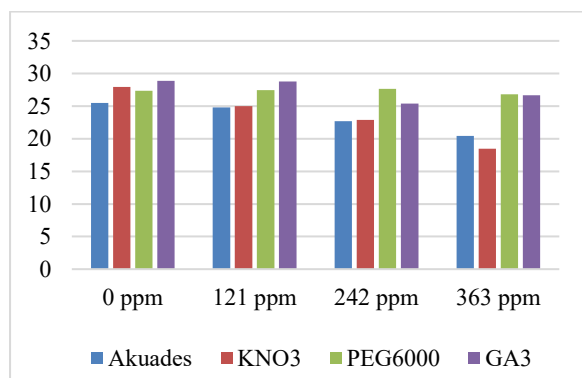
Perlakuan *priming* menggunakan PEG₆₀₀₀ dapat meningkatkan aktivitas enzim α -amylase dan β -amylase yang berperan dalam pemecahan pati menjadi gula sederhana (Lei *et al.*, 2021) yang merupakan sumber energi bagi embrio, sehingga dapat mempercepat perkecambahan

pada benih kedelai. Dengan tersedianya energi yang cukup, diduga benih kedelai dengan *priming* PEG₆₀₀₀ dapat lebih cepat berkecambah. Hasil ini didukung oleh penelitian Agustiansyah *et al.*, (2022) bahwa *priming* menggunakan PEG₆₀₀₀ dapat meningkatkan kecepatan berkecambah benih kedelai.

Tabel 2. Pengaruh perlakuan *priming* dan cekaman aluminium terhadap kecepatan berkecambah

<i>Priming</i>	Cekaman aluminium (ppm)				Rata-rata
	0	121	242	363	
Akuades	25,47	24,81	22,67	20,42	23,34 a
KNO ₃ (1%)	27,92	25,00	22,89	18,48	23,57 a
PEG ₆₀₀₀ (7,5%)	27,33	27,47	27,64	26,83	27,32 b
GA ₃ (50 ppm)	28,89	28,78	25,39	26,67	27,43 b
Rata-rata	27,40	26,51	24,65	23,10	
	B	B	AB	A	

Keterangan: Menurut Uji Rentang Berganda Duncan pada tingkat 5%, tidak ada perbedaan signifikan antara rata-rata angka yang diikuti oleh huruf kapital yang sama secara horizontal dan karakter huruf kecil secara vertikal



Gambar 2. Pengaruh perlakuan *priming* dan cekaman aluminium terhadap kecepatan berkecambah benih kedelai

Priming menggunakan GA₃ juga diduga dapat membantu benih lebih cepat berkecambah melalui perannya dalam memengaruhi aktivitas enzim. GA₃ dapat mengaktifkan enzim, merangsang munculnya tunas, dan meningkatkan pertumbuhan (Agustiansyah *et al.*, 2021). Disebutkan juga bahwa GA₃ dapat merangsang potensi pertumbuhan embrio dengan meningkatkan aktivitas enzim hidrolitik (Gupta dan Chakrabarty, 2013). Selain itu GA₃ memiliki peran antagonis dengan asam absisat (ABA) yaitu hormon yang menghambat perkecambahan, menurut Guangwu dan Xuwen

(2014) pengaplikasian GA₃ menurunkan kadar ABA dan meningkatkan biosintesis IAA dan GA₁.

Priming menggunakan GA₃ menyebabkan radikula memanjang kemudian menembus kulit benih lebih cepat sebagaimana menurut Farida (2017) perlakuan *priming* menggunakan GA₃ dapat mempercepat pecahnya kulit biji melalui peningkatan aktivitas enzim hidrolitik dan stimulasi pembelahan serta pemanjangan sel yang menyebabkan radikula membesar dan menekan bagian dalam kulit benih. Dengan kemampuan GA₃ dalam mengaktifasi enzim dan menurunkan pengaruh ABA, diduga proses pertumbuhan embrio menjadi lebih aktif, sehingga mendukung percepatan munculnya radikula dan meningkatkan kecepatan berkecambah. Hasil ini bersesuaian dengan penelitian Farida (2017) yang menyebutkan bahwa *priming* menggunakan GA₃ dapat meningkatkan kecepatan berkecambah pada benih aren.

Pada perlakuan cekaman aluminium, semakin tinggi cekaman, terjadi kecenderungan kecepatan berkecambah yang menurun. Hal ini berkaitan dengan penurunan aktivitas metabolik sel akibat cekaman aluminium. Sebagaimana menurut Mihoub, Chaoui, dan Ferjani (2005) cekaman aluminium dapat menyebabkan penurunan aktivitas enzimatis seperti α -amilase dan asam fosfatase yang berperan dalam penyediaan cadangan makanan bagi benih. Hal tersebut diduga menyebabkan keterbatasan energi bagi benih untuk memulai proses perkecambahan, sehingga mengakibatkan penurunan kecepatan berkecambah. Hasil ini bersesuaian dengan penelitian pada perkecambahan kacang tanah oleh Shezi dan Adjetey (2020) yang menyatakan bahwa cekaman aluminium menurunkan persentase perkecambahan pada benih kacang tanah.

Panjang radikula

Hasil analisis statistik menunjukkan tidak ada pengaruh interaksi antara perlakuan *priming* dengan perlakuan cekaman aluminium terhadap panjang radikula, tetapi perlakuan *priming* dan cekaman aluminium berpengaruh secara mandiri. Tabel 3 menunjukkan bahwa perlakuan *priming* menggunakan GA₃ yang dan PEG₆₀₀₀ menghasilkan radikula yang lebih panjang dari pada perlakuan *priming* lainnya, hal ini diduga berkaitan dengan kemampuan PEG₆₀₀₀ yang dapat membantu benih meningkatkan hormon tumbuh. PEG₆₀₀₀ memiliki kemampuan untuk

dapat mempengaruhi jalur sinyal hormon tumbuh yang kemudian mempengaruhi pertumbuhan radikula (Wang *et al.*, 2023). Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Adhikari *et al.*, (2022) dengan hasil bahwa *priming* menggunakan PEG₆₀₀₀ dapat meningkatkan panjang radikula pada kecambah pare.

Tabel 3. Pengaruh perlakuan *priming* dan cekaman aluminium terhadap Panjang radikula

<i>Priming</i>	Cekaman aluminium (ppm)				Rata-rata
	0	121	242	363	
Akuades	10,87	9,87	9,83	9,30	9,97 a
KNO ₃ (1%)	11,30	10,53	10,03	9,17	10,26 a
PEG ₆₀₀₀ (7,5%)	12,53	11,37	11,20	10,50	11,40 b
GA ₃ (50 ppm)	13,40	12,60	11,17	11,10	12,07 b
Rata-rata	12,03	11,09	10,56	10,02	
	C	B	A	A	

Keterangan: Menurut Uji Rentang Berganda Duncan pada tingkat 5%, tidak ada perbedaan signifikan antara rata-rata angka yang diikuti oleh huruf kapital yang sama secara horizontal dan karakter huruf kecil secara vertikal

GA₃ sebagai bahan *priming* dapat membantu benih dalam pemanjangan radikula melalui perannya sebagai hormon tumbuh untuk membantu meningkatkan pembelahan dan pemanjangan sel. *Priming* menggunakan GA₃ mampu meningkatkan ukuran sel dan jaringan, sehingga diduga dengan mekanisme yang sama GA₃ mampu memanjangkan radikula pada kedelai (Deninta *et al.*, 2017). Hasil ini sejalan dengan penelitian Gnawali dan Subedi (2021) yang menyebutkan bahwa *priming* menggunakan GA₃ dapat meningkatkan panjang radikula pada kecambah jagung.

Perlakuan cekaman aluminium, semakin tinggi perlakuan cekaman aluminium, terjadi kecenderungan radikula yang semakin pendek. Penghambatan panjang radikula ini diduga berkaitan penghambatan lanjut akibat penurunan aktivitas metabolisme yang kemudian menghambat pembelahan sel pada radikula. Sebagaimana, Zhang *et al.*, (2014) menyebutkan bahwa cekaman aluminium menyebabkan kerusakan kromosom dan pembelahan sel meristem pada radikula. Hasil ini sejalan dengan penelitian oleh Liu *et al.*, (2020) bahwa cekaman aluminium menyebabkan penghambatan

pembelahan dan pemanjangan sel radikula pada *Arabidopsis thaliana*.

Panjang kecambah

Hasil analisis statistik tidak mengungkapkan adanya pengaruh interaksi antara perlakuan *priming* dengan perlakuan cekaman aluminium terhadap panjang kecambah kedelai, tetapi perlakuan *priming* dan cekaman aluminium berpengaruh secara mandiri. Tabel 4 menunjukkan bahwa *priming* menggunakan GA₃ yang tidak berbeda nyata dengan PEG₆₀₀₀ menunjukkan hasil yang lebih tinggi dari perlakuan *priming* akuades dan KNO₃. Hasil ini berkaitan dengan kemampuan GA₃ sebagai ZPT yang berperan dalam meningkatkan pembelahan dan pemanjangan sel (Camara *et al.*, 2018), sehingga diduga dapat meningkatkan panjang kecambah sebagaimana *priming* menggunakan GA₃ meningkatkan panjang radikula. Hasil ini sejalan dengan penelitian Gnawali dan Subedi (2021) yang menyatakan bahwa *priming* menggunakan GA₃ meningkatkan panjang kecambah jagung.

Tabel 4. Pengaruh perlakuan *priming* dan cekaman aluminium terhadap panjang kecambah

<i>Priming</i>	Cekaman aluminium (ppm)				Rata-rata
	0	121	242	363	
Akuades	13,36	12,42	10,48	10,41	11,67 a
KNO ₃ (1%)	12,35	12,41	12,39	11,09	12,06 a
PEG ₆₀₀₀ (7,5%)	14,38	13,74	11,53	11,20	12,71 ab
GA ₃ (50 ppm)	14,80	13,52	12,61	12,44	13,34 b
Rata-rata	13,72	13,02	11,75	11,29	
	B	B	A	A	

Keterangan: Menurut Uji Rentang Berganda Duncan pada tingkat 5%, tidak ada perbedaan signifikan antara rata-rata angka yang diikuti oleh huruf kapital yang sama secara horizontal dan karakter huruf kecil secara vertikal.

Priming menggunakan PEG₆₀₀₀ dapat membantu benih dalam meningkatkan metabolisme awal yang berkaitan dengan pembelahan sel, sebagaimana Wang *et al.*, (2023) bahwa *priming* menggunakan PEG₆₀₀₀ membantu meningkatkan aktivitas enzim dan kandungan hormon benih kedelai. Dengan adanya peningkatan aktivitas enzim dan kandungan hormon tersebut, sebagaimana *priming* menggunakan PEG₆₀₀₀ meningkatkan panjang radikula, diduga *priming* menggunakan PEG₆₀₀₀ juga mampu mendukung pertumbuhan

panjang kecambah pada kedelai melalui peningkatan pembelahan dan pemanjangan sel. Hasil ini didukung oleh penelitian Amini (2013) bahwa *priming* menggunakan PEG₆₀₀₀ dapat meningkatkan panjang kecambah pada kecambah gula bit.

Perlakuan cekaman aluminium, semakin tinggi cekaman, semakin pendek kecambah. Sama halnya dengan penghambatan panjang radikula, cekaman aluminium diduga menghambat pembelahan dan pemanjangan sel meristem yang kemudian berpengaruh pada panjang kecambah. Sebagaimana Kocjan *et al.*, (2024) bahwa cekaman aluminium menyebabkan terhambatnya pembelahan dan pemanjangan sel meristem yang kemudian mempengaruhi pertumbuhan kecambah. Dengan demikian, adanya cekaman aluminium diduga menurunkan panjang kecambah kedelai. Hasil ini didukung oleh penelitian Jamal *et al.*, (2006) bahwa cekaman logam berat menyebabkan penghambatan pada panjang kecambah gandum.

Bobot kering kecambah

Hasil analisis statistik, tidak terdapat pengaruh interaksi antara perlakuan *priming* dengan perlakuan cekaman aluminium terhadap bobot kering kecambah, tetapi perlakuan *priming* dan cekaman aluminium berpengaruh secara mandiri. Tabel 5 menunjukkan bahwa *priming* menggunakan GA₃ menghasilkan bobot kering yang lebih tinggi dibandingkan perlakuan *priming* lainnya. Hal ini diduga berkaitan dengan kemampuan GA₃ yang dapat membantu proses metabolisme benih sebagai salah satu ZPT yang berperan dalam pertumbuhan.

Tabel 5. Pengaruh perlakuan *priming* dan cekaman aluminium terhadap bobot kering kecambah

<i>Priming</i>	Cekaman aluminium (ppm)				Rata-rata
	0	121	242	363	
Akuades	0,17	0,14	0,12	0,10	0,13 a
KNO ₃ (1%)	0,17	0,16	0,14	0,12	0,15 ab
PEG ₆₀₀₀ (7,5%)	0,21	0,18	0,15	0,13	0,17 b
GA ₃ (50 ppm)	0,23	0,19	0,18	0,18	0,20 c
Rata-rata	0,20	0,17	0,15	0,14	
	C	B	AB	A	

Keterangan: Menurut Uji Rentang Berganda Duncan pada tingkat 5%, tidak ada perbedaan signifikan antara rata-rata angka yang diikuti oleh huruf kapital yang sama secara horizontal dan karakter huruf kecil secara vertikal.

Priming menggunakan GA₃ dapat membantu benih untuk meningkatkan metabolisme melalui penghambatan peran asam absisat (ABA) (Iqbal dan Ashraf, 2013). Selain itu, *priming* menggunakan GA₃ meningkatkan toleransi benih polong-polongan terhadap cekaman logam berat dengan meningkatkan pembelahan sel dan perombakan karbohidrat (Mansour dan Kamel, 2005). Hal ini sejalan dengan penelitian Wahyuni dan Kartika (2022) menyatakan bahwa *priming* menggunakan GA₃ dapat meningkatkan metabolisme benih kedelai. Peningkatan metabolisme oleh GA₃ tersebut diduga mempengaruhi pembelahan dan pemanjangan sel pada radikula dan panjang kecambah yang kemudian berpengaruh juga pada peningkatan bobot kering kecambah. Sebagaimana, Kambhampati *et al.*, (2021) bahwa metabolisme kecambah berkaitan erat dengan bobot kecambah, sehingga ketika metabolisme meningkat, bobot kering juga meningkat.

Perlakuan cekaman aluminium, semakin tinggi perlakuan cekaman, semakin rendah bobot kering kecambah. Penurunan bobot kering akibat cekaman aluminium ini diduga berkaitan dengan penghambatan pembelahan dan pemanjangan sel yang mempengaruhi panjang radikula dan panjang kecambah dan menurunkan bobot kering kecambah. Sebagaimana menurut David dan Musyismi (2023) cekaman aluminium menurunkan bobot kering kecambah melalui penghambatan pembelahan dan pemanjangan sel pada kecambah. Hasil ini sejalan dengan penelitian Long *et al.*, (2024) yang menyebutkan bahwa cekaman aluminium menurunkan bobot kering pada radikula *Sophora davidii*.

Indeks vigor

Hasil pengolahan statistik menunjukkan adanya interaksi antara perlakuan *priming* dengan perlakuan cekaman aluminium terhadap indeks vigor benih kedelai. Tabel 6 menunjukkan bahwa terjadi penghambatan indeks vigor oleh cekaman aluminium, hal ini diduga berkaitan dengan terganggunya metabolisme benih untuk berkecambah normal kemudian menurunkan indeks vigor benih kedelai. Cekaman aluminium menyebabkan peroksidasi lipid yang kemudian menghambat metabolisme fisiologis normal pada benih (Li *et al.*, 2022). Hasil ini bersesuaian dengan penelitian Long *et al.*, (2024) yang menyebutkan bahwa cekaman aluminium menurunkan indeks vigor benih *Sophora davidii*.

Tabel 6. Pengaruh interaksi antara perlakuan priming dan cekaman aluminium terhadap bobot kering kecambah

Priming	Cekaman aluminium (ppm)			
	0	121	242	363
Akuades	91,67 b B	83,33 a A	85,67 ab A	82,67 a A
KNO ₃ (1%)	91,33 b B	89,67 b B	83,00 a A	81,67 a A
PEG ₆₀₀₀ (7,5%)	93,33 b B	90,00 b AB	90,33 bc AB	89,00 b A
GA ₃ (50 ppm)	86,67 a B	86,33 ab B	90,67 c B	80,00 a A

Keterangan: Menurut Uji Rentang Berganda Duncan pada tingkat 5%, tidak ada perbedaan signifikan antara rata-rata angka yang diikuti oleh huruf kapital yang sama secara horizontal dan karakter huruf kecil secara vertikal.

Priming menggunakan PEG₆₀₀₀ menunjukkan nilai indeks vigor paling tinggi dibanding perlakuan lainnya pada cekaman 363 ppm. *Priming* PEG₆₀₀₀ mulai mengaktifkan mekanisme adaptasi dengan meningkatkan akumulasi gula larut dan prolin sebagai respons terhadap stimulasi tekanan osmotik yang berperan dalam menjaga stabilitas sel, sehingga kecambah memiliki kondisi fisiologis yang lebih stabil dan lebih tahan terhadap gangguan metabolik akibat cekaman aluminium. Sebagaimana, Ma *et al.*, (2024) berpendapat bahwa kemampuan PEG₆₀₀₀ dapat menstimulasikan tekanan osmotik yang meningkatkan akumulasi gula larut dan prolin, sehingga benih dapat lebih beradaptasi dan memiliki mekanisme lebih tahan terhadap aluminium (Amoozadeh *et al.*, 2013). Hasil ini sejalan dengan penelitian Agustiansyah *et al.*, (2021) bahwa *priming* menggunakan PEG₆₀₀₀ meningkatkan ketahanan benih kedelai yang terkena stres aluminium selama perkecambahan.

Kesimpulan

Temuan ini memungkinkan peneliti mencapai kesimpulan bahwa terdapat pengaruh interaksi antara perlakuan *priming* dan cekaman aluminium pada parameter yang berkaitan dengan daya berkecambah dan indeks vigor, sedangkan tidak ada parameter lain yang menunjukkan bukti interaksi. Mengenai spesifikasi daya berkecambah dan indeks vigor, larutan *priming* menunjukkan hasil yang berbeda tergantung pada taraf cekaman aluminium.

Priming menggunakan larutan PEG₆₀₀₀ menghasilkan daya berkecambah dan indeks vigor paling tinggi dibandingkan dengan perlakuan *priming* lainnya pada cekaman aluminium 363 ppm. *Priming* menggunakan PEG₆₀₀₀ dan GA₃ juga mampu meningkatkan kecepatan berkecambah, panjang radikula, panjang kecambah, dan bobot kering kecambah.

Ucapan Terima Kasih

Atas bantuannya dalam menyelesaikan penelitian ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Produksi Universitas Siliwangi.

Referensi

- Adhikari, B., P.R. Dhital, S. Ranabhat and H. Poudel. (2022). Effect of seed hydro-*priming* durations on germination and seedling growth of bitter gourd (*Momordica charantia*). *PLoS ONE*, 16(8 August): 1–12.
- Agustin, N., A. Agustiansyah, P.B. Timotiwi, & M. Kamal. (2023). Efektivitas *priming* pada benih jagung dalam memperbaiki perkecambahan pada media masam. *Jurnal Agrotropika*, 22(2): 138-147.
- Amoozadeh, A., S. Rahmani, & F. Nemati. (2013). Poly(ethylene) Glycol/AlCl₃ as a new and efficient system for multicomponent biginelli-type synthesis of pyrimidinone derivatives. *Heterocyclic Communications*, 19(1): 69–73.
- Amini, R. (2013). Drought stress tolerance of barley (*Hordeum vulgare* L.) affected by *priming* with PEG. *International Journal of Farming and Allied Sciences Available*, 2(20): 803–808.
- Astuti, M., A. Meliala, F.S. Dalais, & M.L. Wahlqvist. (2000). Tempe, a nutritious and healthy food from Indonesia. *Asia Pacific J Clin Nutr.* 9 (4): 322–325.
- Badan Pangan Nasional. (2024). Ketersediaan dan stabilitas kedelai butuh sinergi stakeholder. <https://badanpangan.go.id/blog/p-ost/kepala-nfa-arief-prasetyo-adi-tegaskan-ketersediaan-dan-stabilitas-kedelai-butuh-sinergi-stakeholder>
- Camara, M. C., L.P.S. Vandenberghe, C. Rodrigues, J. de Oliveira, C. Faulds, E. Bertrand, & C.R. Soccol. (2018). Current advances in gibberellic acid (GA₃)

- production, patented technologies and potential applications. *Planta*, 248(5): 1049–1062.
- Damayanti, F., & E. Gresita. (2019). Screening ketahanan terhadap aluminium pada beberapa varietas selada (*Lactuca sativa* L.). *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*. 24(3): 423–433.
- Deninta, N., T. M. Onggo, & Kusumiyati. (2017). Pengaruh berbagai konsentrasi dan metode aplikasi hormon GA₃ terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman brokoli kultivar lucky di lembang. *Indonesian Journal of Applied Sciences*, 7(2): 5–9.
- Draganić, I., & S. Lekić. (2012). Seed priming with antioxidants improves sunflower seed germination and seedling growth under unfavorable germination conditions. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 36(4): 421–428.
- David, M. & M Musyimi. (2023). Effect of aluminium stress on germination, growth and photosynthetic pigments of *Amaranthus hybridus*. *Journal of Biodiversity and Biotechnology*, 3(1): 44–50.
- Farida. (2017). Pengaruh lama perendaman dalam giberelin (GA₃) terhadap perkecambahan benih aren (*Arenga pinnata* merr). *Magrobis Journal*, 17(1): 47–56.
- Fuqara, F.A., & Y. W. Tanjung. 2023. Strategi peningkatan produksi padi lahan suboptimal. *Jurnal Sosial Ekonomi Pertanian*, 19(2), 129–138.
- Gnawali, A., & R. Subedi. (2021). Gibberellic acid priming enhances maize seed germination under low water potential. *Indonesian Journal of Agricultural Science*, 22(1): 17–26.
- Guangwu, Z., & J. Xuwen. (2014). Roles of gibberellin and Auxin in promoting seed germination and seedling Vigor in *Pinus massoniana*. *Forest Science*, 60(2): 367–373.
- Gupta, R., & S.K Chakrabarty. (2013). Gibberellic acid in plant. *Plant Signaling and behavior*. 8(9): e25504.
- Iqbal, M., & M. Ashraf. (2013). Gibberellic acid mediated induction of salt tolerance in wheat plants: Growth, ionic partitioning, photosynthesis, yield and hormonal homeostasis. *Environmental and Experimental Botany*, 86(2013): 76–85.
- Jamal, S. N., M.Z. Iqbal, & M. Athar. (2006). Evaluation of two wheat varieties for phytotoxic effect of mercury on seed germination and seedling growth. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 71(2): 41–44.
- Kambhampati, S., J.A. Aznar-Moreno, S.R. Bailey, J.J. Arp, K.L. Chu, K.D. Bilyeu, T.P. Durrett, & D.K. Allen. (2021). Temporal changes in metabolism late in seed development affect biomass composition. *Plant Physiology*, 186(2): 874–890.
- Kementerian Pertanian. (2017). *Meraih Untung Dengan Kedelai Unggul*. IAARD Press.
- Kementrian Pertanian. (2022). *Statistik konsumsi pangan tahun 2022*. Pusat data an sistem informasi pertanian. Kementrian Republik Indonesia. 1–132.
- Kochian, L. V., M. A. Piñeros, J. Liu, & J.V. Magalhaes. (2015). Plant adaptation to acid soils: the molecular basis for crop aluminum resistance. *Annual Review of Plant Biology*, 66(1): 571–598.
- Kochian, L. V., O.A. Hoekenga, & M.A. Piñeros. (2004). How do crop plants tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorous efficiency. *Annual Review of Plant Biology*, 459–493.
- Kocjan, A., J. Kwasniewska, & M. Szurman-Zubrzycka. (2024). Understanding plant tolerance to aluminum: exploring mechanisms and perspectives. *Plant and Soil*, 507(1): 195–219.
- Krisnawati, A. (2017). Soybean as source of functional food. *Iptek Tanaman Pangan*, 12(1): 57–65.
- Lei, C., M. Bagavathiannan, H. Wang, S.M. Sharpe, W. Meng, & J. Yu. (2021). Osmopriming with polyethylene glycol (PEG) for abiotic stress tolerance in germinating crop seeds: A review. *Agronomy*, 11(11), 1–12.
- Li, W., S. Ullah, Y. Xu, T. Bai, S. Ye, W. Jiang, & M. Yang. (2022). Effects of elevated aluminum concentration and distribution on root damage, cell wall polysaccharides, and nutrient uptake in different tolerant eucalyptus clones. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(21).
- Liu, Y., J. Xu, S. Guo, X. Yuan, S. Zhao, H. Tian, S. Dai, X. Kong, & Z. Ding. (2020). AtHB7/12 regulate root growth in response to aluminum stress. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(11): 1–15.
- Long, S., W. Xie, W. Zhao, D. Liu, P. Wang, &

- L. Zhao. (2024). Effects of acid and aluminum stress on seed germination and physiological characteristics of seedling growth in *Sophora davidii*. *Plant Signaling and Behavior*, 19(1): e2328891.
- Ma, L., J. Wei, G. Han, X. Sun, & X. Yang. (2024). Seed osmopriming with polyethylene glycol (PEG) enhances seed germination and seedling physiological traits of *Coronilla varia* L. under water stress. *PLoS ONE*, 19(5 May): 1–21.
- Mansour, M. M., & E.A.R. Kamel. (2005). Interactive effect of heavy metals and gibberellic acid on mitotic activity and some metabolic changes of *Vicia faba* L. plants. *Cytologia*, 70(3): 275–282.
- Mihoub, A., A. Chaoui, & E. El Ferjani. (2005). Changements biochimiques induits par le cadmium et le cuivre au cours de la germination des graines de petit pois (*Pisum sativum* L.). *Comptes Rendus - Biologies*, 328(1): 33–41.
- Megawati, S. (2022). Viabilitas dan vigor berbagai varietas true shallot seed dengan perendaman jenis zat pengatur tumbuh (ZPT) alami. *Agritech : Jurnal Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Purwokerto*, 24(2): 131
- Mulyani A. & M. Sarwani. (2013). Karakteristik dan potensi lahan sub optimal untuk pengembangan pertanian di indonesia. *Jurnal Sumberdaya Lahan*. 7(1): 47-55.
- Nawaz, J., M. Hussain, M., A. Jabbar, & G.A. Nadeem. (2013). Seed priming a technique. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. 6(20): 1373-1381.
- Ningsih, O. (2017). Dampak Kenaikan Harga Kedelai Terhadap Industri Tahu dan Tempe di Kota Pekanbaru. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Ekonomi Universitas Riau*, 4(1): 994–1003.
- Nurida, N. L., A. Dariah, & S. Sutono. (2015). Pembenah Tanah Alternatif untuk Meningkatkan Produktivitas Tanah dan Tanaman Kedelai di Lahan Kering Masam. *Jurnal Tanah dan Iklim*, 39(2): 99–108.
- Sutopo, L. (2010). *Teknologi Benih*. Raja Gupindo Persada. Jakarta.
- Shezi, N., & J.A. Adjetej. (2020). High aluminium concentration and soil acid saturation reduce germination, emergence and seedling establishment of groundnut. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 24(2): 257–262.
- Swastika, D. K. S. (2022). Perjalanan panjang Indonesia menuju swasembada kedelai. *Forum Penelitian Agro Ekonomi*, 40(1): 39–53.
- Wahyuni W. & Kartika. (2022). Kajian teknik invigorasi benih kedelai (*Glycine max*) di Indonesia: review artikel. *Fruitset Sains*, 10(4): 146–156.
- Wang, Y., E. Zhou, M. Yao, D. Xue, N. Zhao, Y. Zhou, B. Li, K. Wang, Y. Miao, C. Gu, X. Wang, & L. Wei. 2023. PEG₆₀₀₀ Priming Improves Aged Soybean Seed Vigor via Carbon Metabolism, ROS Scavenging, Hormone Signaling, and Lignin Synthesis Regulation. *Agronomy*, 13(12): 1–21.
- Zhang, H., Z. Jiang, R. Qin, H. Zhang, J. Zou, W. Jiang, & D. Liu. 2014. Accumulation and cellular toxicity of aluminum in seedling of *Pinus massoniana*. *BMC Plant Biology*, 14(1), 1–16.