

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA, KERANGKA BERPIKIR, DAN HIPOTESIS

2.1 Tinjauan pustaka

2.1.1. Kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill)

Kedelai termasuk tanaman famili Fabaceae (polong-polongan) dengan klasifikasi sebagai berikut.

Kingdom	: Plantae (tumbuhan)
Divisi	: Magnoliophyta (tumbuhan berbunga)
Kelas	: Magnoliopsida (berkeping dua)
Ordo	: Fabales
Famili	: Fabaceae (suku polong-polongan)
Genus	: <i>Glycine</i>
Spesies	: (<i>Glycine max</i> (L.) Merrill)



Gambar 1 Benih kedelai
(Sumber: Dinas Pertanian Ngawi, 2022)

Kedelai mulai ditanam di Indonesia utamanya di Jawa sekitar tahun 1750, sebaran dari kawasan Asia yang berawal dari daerah Manshukuo, Cina Utara (Andayanie, 2016). Tanaman kedelai dapat ditanam pada berbagai jenis tanah dengan tekstur ringan hingga sedang dan berdrainase baik. Kedelai tumbuh baik pada tanah yang bertekstur gembur, lembab tetapi tidak tergenang dengan pH tanah 6 sampai 6,8. Apabila pH kurang dari 5,5 pertumbuhan kedelai akan sangat lambat karena keracunan aluminium (Sofia, 2007).

Struktur benih kedelai terdiri dari embrio, kotiledon, dan kulit. Benih kedelai sebagian besar tersusun oleh kotiledon yang dilapisi oleh kulit biji, di antara kulit biji dan kotiledon terdapat lapisan endosperm (Lagiman dkk., 2022). Dalam struktur benih, protein merupakan kandungan kimia yang paling banyak dalam kedelai yang memiliki sifat mudah menahan uap air atau umum disebut dengan

higroskopis (Hasbianto dan Yasin, 2014). Kedelai memiliki endosperm yaitu cadangan makanan yang dimanfaatkan embrio untuk berkembang dan zat untuk perkecambahannya disimpan dalam kotiledon (Elle, 2004).

Embrio kedelai terdiri dari radikula, plumula, dan hipokotil. Bagian kulit benih merupakan bagian terluar dari benih yang terdiri atas testa, lapisan epidermis, hypodermis dan parenkima. Warna benih kedelai terdiri dari kuning muda, kuning, kuning tua, kuning hijau, hijau kuning, coklat muda, coklat, coklat tua, dan hitam (Suhartina, Hapsari, dan Purwantoro, 2018). Kulit benih (testa) merupakan karakter morfologi penting bagi benih kedelai karena menentukan proses fisiologis embrio, sekaligus menjadi penutup dan pelindung embrio (Hasbianto dan Yasin, 2014).

Perkecambahan benih diartikan sebagai muncul dan berkembangnya struktur dari embrio benih kemampuan kecambah tersebut untuk tumbuh menjadi tanaman normal (Megawati, 2022). Kedelai memiliki fase kecambah sekitar 7 hari setelah berkecambah dan akan mulai masuk pada fase vegetatif awal pada hari berikutnya. Perkecambahan benih kedelai termasuk pada perkecambahan epigeal, yaitu tipe perkecambahan dimana kotiledon akan naik ke atas atau ke permukaan media tumbuh. Selama pertumbuhan akar, hipokotil mulai memanjang, melengkung hingga mengangkat kotiledon dan plumula ke atas, kemudian plumula akan terus tumbuh hingga kotiledon membuka dan luruh (Yudono, 2012).

Fase perkecambahan kedelai terdiri dari beberapa fase, meliputi:

1. Imbibisi, yaitu masuknya air kedalam benih untuk meningkatkan kadar air yang kemudian menyebabkan terjadinya perubahan biokimiawi pada benih (Edy, Hendrady, dan Utomo, 2013).
2. Aktivasi enzim-enzim endogen, seperti protease, yang memicu reaksi hidrolisis untuk menguraikan protein menjadi bentuk-bentuk sederhana yang lebih mudah dicerna (Ferdiawan, Nurwantoro, dan Dwiloka, 2019).
3. Munculnya radikula dari benih dari mikrofil atau celah pada benih karena radikula yang tumbuh menyebabkan kulit biji di sekitar mikrofil retak, proses ini merupakan tanda awal dimulainya fase perkecambahan (Handayani, 2021).

2.1.2. Metode *priming*

Priming adalah perlakuan pada benih yang akan mempersiapkan proses metabolisme benih akan aktif tanpa terjadinya perkecambahan. Konsep *priming* biasanya mengacu pada beberapa pendekatan yang melibatkan hidrasi terkontrol pada benih (Farooq dkk., 2006). Teknik *priming* benih digunakan untuk memaksimalkan proses benih secara keseluruhan, termasuk kerusakan akibat penyimpanan dan kemampuan benih bertahan pada kondisi lingkungan yang tidak optimal (Wahyuni dan Kartika, 2022). Menurut Waqas dkk. (2019) *priming* dapat meningkatkan perkecambahan benih dalam tiga fase yaitu imbibisi, perkecambahan dan pertumbuhan. *Priming* pada benih merupakan salah satu perlakuan penting dalam mendukung pertanian berkelanjutan, karena dapat menurunkan ketergantungan terhadap pupuk dan pestisida kimia, meningkatkan produktivitas serta mutu hasil tanaman, dan turut berkontribusi dalam pelestarian sumber daya alam (Ingale dan Pathak, 2023).

Priming benih merupakan metode yang efektif untuk mengurangi hambatan perkecambahan maupun pertumbuhan akibat cekaman lingkungan abiotik seperti cekaman salinitas, karena dapat meningkatkan kemampuan toleransi benih (Dadlani, 2023). *Priming* benih dapat dibedakan menjadi beberapa jenis didasarkan pada larutan *priming* yang digunakan.

Terdapat beberapa jenis *priming*, diantaranya:

- a) *Halo-priming* mengacu pada perendaman benih dalam larutan garam anorganik yaitu NaCl, KNO₃, CaCl₂, CaSO₄, dan lainnya.
- b) *Osmo-priming* adalah perlakuan benih yang direndam dalam larutan osmotik, misal PEG, gliserol, sorbitol, atau manitol.
- c) *Hormonal priming*, perlakuan benih yang direndam menggunakan hormon tumbuhan, seperti GA₃.
- d) *Hydro priming*: perlakuan perendaman benih menggunakan air.

KNO₃ merupakan suatu senyawa garam yang disusun oleh kation K⁺ dan anion NO₃⁻. Kandungan nitrat dikombinasikan dengan faktor lingkungan pada senyawa ini, seperti cahaya dan suhu, dapat merangsang sintesis giberelin dan mendukung perkecambahan (Reis dkk., 2013). Menurut Agustin dkk., (2023) perlakuan perendaman PEG₆₀₀₀ disebut mampu meningkatkan vigor benih jagung

saat dikecambahkan dalam kondisi cekaman aluminium. Sejalan dengan penelitian Amoozadeh, Rahmani, dan Nemati (2013) penggunaan PEG pada benih yang dikecambahkan pada cekaman Aluminium menghasilkan respons yang baik. Disebutkan juga bahwa dalam penelitian Agustiansyah dkk. (2021) *priming* benih cabai dalam cekaman aluminium dengan GA₃ 50 ppm mampu meningkatkan kecepatan perkecambahan yaitu sebesar 25,64 % per hari dan benih sudah mampu berkecambah setelah 3,91 hari.

2.1.3. Cekaman aluminium

Cekaman (*stress*) pada tanaman diartikan sebagai faktor eksternal yang tidak menguntungkan dan berpengaruh buruk terhadap tanaman karena dapat merusak jaringan akar, mengganggu penyerapan hara, serta menurunkan pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Meskipun aluminium merupakan unsur yang diperlukan oleh tumbuhan, tetapi dalam jumlah yang terlalu banyak aluminium akan bersifat merugikan atau toksik. Toksisitas aluminium merupakan faktor pembatas pertumbuhan tanah masam di seluruh dunia, dan tanah masam dengan pH 5,5 atau lebih rendah merupakan batas rentan terhadap batas toksisitas aluminium (Neenu dan Karthika, 2019). Sebagaimana menurut Takita, Koyama, dan Hara (1999), hambatan yang terjadi pada pertumbuhan tanaman di tanah masam merupakan akibat dari kelarutan aluminium, terutama pada kondisi pH < 5 yang bersifat racun dan menyebabkan rendahnya kelarutan hara esensial yang menyebabkan terjadinya kekurangan unsur hara.

Menurut Long dkk. (2024) kemasaman tanah yang tinggi atau pH rendah dapat menyebabkan toksisitas ion hidrogen, yang mengganggu kestabilan membran protoplasma akar tanaman. Tanah dengan pH di bawah 5 dapat meningkatkan kelarutan aluminium menjadi bentuk-bentuk monomer seperti Al³⁺, Al(OH)⁺, dan Al(OH)⁴⁻ dan diantara bentuk-bentuk tersebut, Al³⁺ (trivalen) merupakan yang paling toksik bagi tanaman (Kochian dkk. 2015). Menurut Damayanti dan Gresita (2019) penghambatan pertumbuhan tanaman dapat dilihat dari tidak berkembangnya sistem perakaran terutama pada daerah tudung dan meristem akar yang merupakan target utama cekaman aluminium karena daerah apoplas dan

simpas dari akar menentukan proses eksklusi selular atau akumulasi pada sitoplasma yang memperlihatkan ketahanan terhadap cekaman aluminium.

Keberadaan aluminium yang terlalu tinggi dalam tanah dapat menjadi penyebab terjadinya kerusakan akar yang dapat menghambat penyerapan air dan mineral yang dibutuhkan tanaman (Setiadi, Fiona, dan Anira, 2015). Sebagaimana menurut Damayanti dan Gresita (2019), pengaruh utama aluminium pada selada terlihat dari terhambatnya pertumbuhan akar terutama pada daerah tudung dan meristem akar yang merupakan target utama cekaman aluminium. Gejala-gejala yang terlihat pada tumbuhan yang keracunan aluminium antara lain pertumbuhan akar terhambat, terjadi klorosis, defisiensi nutrisi, dan tanaman menjadi kerdil (Enggarini dan Marwani, 2006).

Menurut Yang dkk. (2019) aluminium dapat dengan mudah diserap oleh akar tanaman meski dalam jumlah yang rendah dan dapat menurunkan hasil panen karena dalam kondisi tanah masam, cekaman aluminium tidak hanya menghambat pertumbuhan akar serta mengganggu penyerapan air dan unsur hara, tetapi juga merusak keseimbangan osmotik di membran sel tanaman dan meningkatkan akumulasi spesies oksigen reaktif (ROS), sehingga berdampak pada penurunan biomassa tanaman. Menurut Firmasnyah (2003) terdapat tiga parameter yang umum digunakan untuk melihat toksisitas maupun ketahanan tanaman terhadap cekaman aluminium, yaitu dengan mengetahui konsentrasi aluminium di tip akar untuk dapat menunjukkan hubungan positif terhadap toksisitas aluminium, induksi pembentukan kalosa di apikal akar sebagai suatu indikator kepekaan tanaman terhadap aluminium, dan perpanjangan akar.

2.1.4. Viabilitas benih

Viabilitas benih adalah daya hidup benih yang dapat ditunjukkan melalui gejala metabolisme dengan gejala pertumbuhan, dan parameter yang digunakan dapat berupa daya kecambah (Ridha, Syahril, dan Juanda, 2017). Perbedaan tingkat viabilitas benih dapat juga dilihat dari laju perkecambahan dan kemampuan benih berkecambah secara normal (Widya dan Faisal, 2017). Toleransi tanaman terhadap aluminium merupakan faktor yang penting untuk adaptasi pada tanah masam dan

dapat terjadi secara internal dan eksternal, sebagai suatu mekanisme untuk dapat beradaptasi pada tanah masam dengan aluminium tinggi (Utama, 2008).

Dalam menghadapi toksisitas aluminium, tumbuhan dapat melakukan mekanisme adaptasi, yaitu mekanisme secara eksternal dan mekanisme secara internal. Pada mekanisme eksternal tumbuhan akan mencegah aluminium masuk ke dalam jaringan dengan mengeksudasi asam organik dari akar yang dapat berikatan dengan aluminium di rizosfer. Asam organik tersebut dapat membentuk kompleks dengan aluminium di rizosfer sehingga tidak bersifat racun bagi tumbuhan (Ryan dan Delhaize, 2001). Terjadi mekanisme internal ketika aluminium sudah masuk ke dalam tanaman. sel tumbuhan akan menghasilkan asam organik atau ligan organik yang dapat berikatan dengan Al sehingga terbentuk kompleks yang tidak bersifat racun (Watanabe dan Osaki, 2002).

Vigor adalah kemampuan benih untuk tumbuh normal dan berproduksi normal pada lingkungan yang sub-optimum. Kondisi sub-optimum sangat beragam misalnya kekeringan, konsentrasi oksigen rendah, intensitas cahaya rendah, dan adanya penyakit di sekitar benih. Kecambah normal adalah kecambah yang menunjukkan kemampuan untuk berkecambah menjadi tanaman yang sempurna, sedangkan kecambah abnormal adalah kecambah yang tidak menunjukkan kemampuan untuk berkecambah menjadi tanaman sempurna.

Menurut Syaranamual dkk. (2024) kriteria viabilitas benih dapat dibagi sebagai berikut.

1. Normal: tumbuh sempurna, sehat
2. Abnormal:
 - Cacat: akar pendek (salah satu bagian kecambah hilang)
 - Rusak: kotiledon/perakaran putus
 - Busuk: akibat serangan hama dan penyakit
 - Lambat: pertumbuhan kecambah tidak normal pada akhir pengamatan
3. Benih mati: busuk
4. Benih segar tidak tumbuh: benih mengembang, tidak tumbuh plumula (mengalami imbibisi)
5. Benih keras: tidak mengalami imbibisi karena kulit keras.

2.2 Kerangka berpikir

Tanah dengan pH rendah atau tanah masam dapat memicu kelarutan aluminium dalam jumlah yang tinggi. Kandungan aluminium tinggi pada media tumbuh atau disebut dengan cekaman aluminium dapat menghambat pertumbuhan tanaman karena sifatnya yang merusak. Cekaman aluminium dapat merusak dinding sel, permukaan membran plasma, bahkan inti sel (Kochian, Hoekenga, dan Pinero 2004). Kerusakan komponen-komponen tersebut mengakibatkan terhambatnya pertumbuhan dan perkembangan akar, berkurangnya fotosintesis, meningkatnya akumulasi spesies oksigen reaktif (ROS) (Ofoe dkk. 2023). Berdasarkan penelitian Pujiwati dkk. (2022) kedelai varietas Ceneng mulai menunjukkan sifat peka pada aluminium menggunakan $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ konsentrasi 0,5 mM atau sekitar 121 ppm. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan viabilitas benih dibawah kondisi cekaman aluminium adalah dengan menerapkan perlakuan *priming*.

Priming merupakan suatu metode untuk meningkatkan daya adaptasi benih yang melibatkan proses perendaman benih menggunakan larutan tertentu untuk mempersiapkan benih sebelum berkecambah (Nawaz dkk. 2013). Mengacu pada penelitian Wahyuni dan Kartika (2022), *priming* dapat dilakukan menggunakan KNO_3 , PEG_{6000} , dan GA_3 dan dapat meningkatkan viabilitas benih kedelai. Penggunaan KNO_3 sebagai larutan *priming* mampu meningkatkan daya adaptasi benih cabai di bawah cekaman aluminium (Agustiansyah dkk. 2021). Hal ini disebabkan karena kalium pada KNO_3 dapat berfungsi untuk merangsang titik tumbuh dan mampu memudahkan imbibisi, sedangkan nitrat berperan dalam mensistensis asam amino dan protein dalam endosperma yang digunakan untuk benih dapat berkecambah (Anosheh, Sadeghi, dan Emam, 2011).

Selanjutnya, berdasarkan penelitian Agustiansyah dkk. (2022) perlakuan *priming* dengan PEG_{6000} merupakan perlakuan yang dapat meningkatkan vigor benih kedelai dibawah kondisi cekaman aluminium. Hal ini berkaitan dengan penggunaan PEG dapat menciptakan keadaan tekanan osmotik yang dapat membuat tanaman memiliki mekanisme lebih tahan aluminium (Amoozadeh dkk., 2013).

Perlakuan perendaman GA_3 mampu meningkatkan vigor benih kedelai saat dikecambahkan dalam kondisi cekaman aluminium (Agustin dkk., 2023). GA_3 memiliki kemampuan untuk mampu mendorong pemanjangan akar padi di bawah kondisi cekaman aluminium (Lu dkk., 2024). Giberelin merupakan fitohormon tanaman yang dapat mengatur pertumbuhan dan mempengaruhi berbagai proses pertumbuhan, termasuk pemanjangan batang, perkecambahan, pembungaan, dan induksi enzim (Azab, 2018).

Berdasarkan penelitian sebelumnya, cekaman aluminium disebutkan merusak komponen penting pada sel tanaman. Kerusakan pada komponen-komponen tersebut dapat berakibat pada menurunnya kekuatan sel, terhambatnya proses transportasi, hingga terganggunya replikasi DNA (Laila, 2021). Sementara itu, *priming* menggunakan KNO_3 mampu meningkatkan aktivitas enzim (Haq, Gusmalawati, dan Ifadatin. 2024), *priming* menggunakan PEG dapat mengaktifkan berbagai proses metabolisme awal pada kondisi cekaman (Lei dkk. 2021), dan *priming* menggunakan GA_3 dapat meningkatkan pembelahan dan pemanjangan sel (Camara dkk. 2018). Dengan demikian, *priming* menggunakan larutan-larutan di atas berpotensi untuk menghambat dampak buruk akibat cekaman aluminium, sehingga diduga respon benih terhadap *priming* dapat dipengaruhi oleh tingkat cekaman aluminium, maka dari itu dilakukan penelitian ini untuk mengetahui interaksi antara perlakuan *priming* dan cekaman aluminium serta mendapatkan larutan *priming* paling baik untuk meningkatkan viabilitas benih kedelai pada kondisi cekaman aluminium.

2.3 Hipotesis

Berdasarkan kerangka berpikir, maka dihasilkan hipotesis sebagai berikut.

1. Terdapat interaksi antara perlakuan *priming* dan perlakuan cekaman aluminium terhadap viabilitas benih kedelai.
2. Didapatkan perlakuan *priming* dan perlakuan cekaman yang berpengaruh paling baik terhadap viabilitas benih kedelai pada kondisi cekaman aluminium.