

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA, KERANGKA BERPIKIR DAN HIPOTESIS

2.1. Tinjauan pustaka

2.1.1. Klasifikasi botani kedelai (*Glycine max* L. Merrill)

Kedelai merupakan tanaman pangan yang berasal dari daratan Cina. Berdasarkan peninggalan arkeologi, tanaman kedelai telah dibudidayakan sejak 3.500 tahun yang lalu di Asia Timur, yaitu di bagian selatan Cina. Kedelai putih diperkenalkan di Nusantara oleh pendatang dari Cina sejak maraknya perdagangan dengan Tiongkok sekitar tahun 1750 (Marwoto, 2018).

Dalam taksonomi tumbuhan, menurut Marwoto (2018) tanaman kedelai dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Spermatophyta
Subdivisi	: Magnoliophyta
Kelas	: Magnoliopsida
Ordo	: Fabales
Famili	: Fabaceae
Genus	: Glycine
Spesies	: <i>Glycine max</i> (L) Merrill



Gambar 1. Tanaman dan biji kedelai
(Sumber: Dinas Ketahanan Pangan dan Pertanian Ngawi, 2023 dan Geotimes, 2022)

Kedelai merupakan tanaman semusim yang memiliki masa panen antara 72 sampai 90 hari (Lagiman, Suryawati, dan Widayanto, 2022). Tanaman kedelai memiliki kemampuan penyesuaian yang tinggi, sehingga dapat hidup di daerah tropis dan subtropis, juga di daerah lain dengan kondisi tanah dan iklim yang tinggi

memungkinkan tanaman pangan lainnya dapat tumbuh. Kedelai dapat memperbaiki sifat atau kondisi tanah di tempat tumbuhnya, serta dapat menyuburkan tanah, karena humus dari daunnya (Astri, 2018).

Sebagai makanan, kedelai memiliki khasiat bagi pertumbuhan dan menjaga kondisi sel-sel tubuh. Daun dan batang kedelai yang sudah agak kering dapat digunakan sebagai makanan ternak dan pupuk hijau. Tanah bekas ditanami kedelai sangat baik untuk ditanami, karena akar kedelai memiliki bintil-bintil akar yang dapat mengikat unsur nitrogen dari udara dengan memanfaatkan aktivitas bakteri *Rhizobium* (Firmanto, 2021).

2.1.2. Morfologi tanaman kedelai

Kedelai (*Glycine max* L. Merrill) adalah tanaman kacang-kacangan semusim yang pertumbuhannya terbagi menjadi dua fase utama, yaitu fase vegetatif dan fase generatif (Soesanto, 2015). Tanaman ini tumbuh tegak dengan tinggi antara 40 hingga 90 cm, sedikit percabangan, memiliki daun majemuk berjumlah tiga (*trifoliolate*) yang permukaan daun serta polongnya ditutupi rambut halus (*trikoma*). Morfologi kedelai secara umum meliputi akar, batang, daun, bunga, polong, dan biji (Lagiman dkk, 2022).

Kedelai memiliki akar tunggang yang bercabang dan menyebar secara horizontal hingga 40 cm di dekat permukaan tanah, serta dapat menembus kedalaman hingga 120 cm. Akar cenderung tumbuh lebih dalam jika kelembapan tanah berkurang untuk mencari air dan hara. Selain berfungsi sebagai penopang dan pengangkut air serta unsur hara, akar kedelai juga membentuk bintil akar, yaitu koloni bakteri *Bradyrhizobium japonicum* yang bersimbiosis dengan tanaman untuk mengikat nitrogen dari udara. Bakteri ini dapat mengikat nitrogen langsung dari udara dalam bentuk gas N_2 yang kemudian dapat digunakan oleh kedelai setelah dioksidasi menjadi nitrat (NO_3). Bintil akar mulai terbentuk sekitar 15 sampai 20 hari setelah tanam dan berhenti membesar pada akhir minggu keempat setelah infeksi bakteri (Marwoto, 2018). Bintil matang berwarna merah muda karena kandungan *leghemoglobin* (terdiri dari sel-sel bakteroid bercampur dengan sel-sel yang tidak terinfeksi) dan aktif dalam fiksasi nitrogen, sedangkan bintil

berwarna hijau tidak aktif. Umumnya, bintil akar mulai melapuk pada minggu keenam atau ketujuh (Lagiman dkk, 2022).

Batang kedelai tidak berkayu, termasuk jenis perdu, berbentuk bulat, berwarna hijau, dan berbulu dengan panjang bervariasi antara 30 hingga 100 cm. Batang utama umumnya membentuk 3 sampai 6 cabang yang mulai tumbuh saat tanaman mencapai tinggi 20 cm. Jumlah cabang ini dipengaruhi oleh varietas serta kepadatan tanaman (Lagiman dkk, 2022). Semakin rapat jarak tanam, jumlah cabang cenderung berkurang atau bahkan tidak bercabang sama sekali (Marwoto, 2018).

Daun kedelai adalah daun majemuk *trifoliolate* (tiga anak daun) dengan warna bervariasi dari hijau muda hingga kekuningan. Bentuk daun bervariasi antara bulat (oval) dan lancip (*lanceolate*), dengan ujung runcing atau tumpul, dan permukaannya berbulu. Warna dan bentuk daun dipengaruhi oleh varietas tanaman (Suhaeni, 2016). Setiap daun dilengkapi sepasang stipula di pangkalnya yang melekat pada batang. Daun *trifoliolate* tersusun selang-seling pada batang utama dan cabang lateral (Lagiman dkk, 2022).

Bunga kedelai adalah bunga sempurna (memiliki alat kelamin jantan dan betina) yang umumnya mulai berbunga pada umur 5 hingga 7 minggu. Bunga berbentuk kupu-kupu, terletak di ketiak daun, memiliki warna bervariasi dari putih hingga ungu, dan dalam satu tanaman bisa terdapat hingga 25 bunga tergantung kondisi lingkungan dan varietas kedelai (Lagiman dkk, 2022). Kedelai melakukan penyerbukan sendiri secara *kleistogami*, di mana penyerbukan terjadi saat bunga masih tertutup, sehingga peluang reproduksi alami melalui penyerbukan silang sangat kecil. Meski penyerbukan sempurna, tidak semua bunga berkembang menjadi polong karena sekitar 60% bunga akan rontok sebelum terbentuk polong (Marwoto, 2018).

Polong kedelai mulai terbentuk sekitar 10 hingga 14 hari setelah bunga pertama muncul. Awalnya polong berwarna hijau, selanjutnya akan berubah menjadi kuning atau cokelat ketika siap panen. Setiap kelompok bunga di ketiak daun akan terbentuk 2 sampai 10 polong, sehingga satu tanaman kedelai bisa menghasilkan 20 hingga 200 polong tergantung varietas dan kondisi lingkungan

(Lagiman dkk, 2022). Polong kedelai dicirikan oleh permukaannya yang berbulu dan umumnya berwarna kuning kecokelatan atau abu-abu (Marwoto, 2018).

Setiap polong kedelai berisi 1 hingga 4 biji (Lagiman dkk, 2022). Biji kedelai adalah dikotiledon (berkeping dua), dilindungi kulit biji, dan tidak memiliki endosperm; embrio terletak di antara keping biji. Warna kulit biji sangat bervariasi (kuning, hitam, hijau, coklat), begitu pula bentuknya yang bisa bulat lonjong, bulat, atau pipih. Biji kedelai yang kering dapat berkecambah jika mendapat cukup air (Marwoto, 2018).

2.1.3. Syarat tumbuh tanaman kedelai

Sebagai negara beriklim tropis, Indonesia memiliki potensi untuk budidaya kedelai. Pertumbuhan dan produksi kedelai yang optimal sangat bergantung pada pemenuhan beberapa persyaratan tumbuh, antara lain:

a. Iklim

Kedelai dapat tumbuh optimal pada kisaran suhu 23°C hingga 27°C, meskipun toleran terhadap suhu 21°C hingga 34°C. Suhu ideal untuk perkecambahan adalah 30°C, bila di bawah 15°C perkecambahan dapat melambat hingga dua minggu (Sumarno dan Manshuri, 2016). Meskipun kedelai dapat tumbuh di daerah agak kering (kecuali saat pembungaan), budidaya kedelai di Indonesia umumnya memerlukan suhu udara 25°C hingga 27°C, kelembapan rata-rata 65%, dan penyinaran matahari minimal 10 hingga 12 jam/hari. Kedelai tergolong tanaman hari pendek, yaitu tidak mampu berbunga bila panjang hari (lama penyinaran) kurang dari 10 jam atau melebihi 16 jam, dan mempercepat pembungaan bila lama penyinaran kurang dari 12 jam (Jayasumarta, 2012).

Pada tanaman hari pendek seperti kedelai, apabila panjang penyinaran semakin pendek akan merangsang pembungaan lebih cepat. Secara umum persyaratan panjang hari untuk tanaman kedelai berkisar 11 sampai 16 jam dengan panjang hari optimal untuk produktivitas tinggi 14 sampai 15 jam. Di Indonesia panjang hari relatif konstan yaitu sekitar 12 jam sehingga seluruh wilayah Indonesia secara geografis sesuai untuk budidaya kedelai (Sumarno dan Manshuri, 2016).

Curah hujan optimal yang dibutuhkan berkisar 100 sampai 200 mm/bulan (Jayasumarta, 2012), meskipun kedelai dapat tumbuh di daerah dengan curah hujan 100 sampai 400 mm/bulan (Firmanto, 2021). Oleh karena itu, kedelai sering ditanam di dataran rendah kurang dari 400 meter di atas permukaan laut dan jarang di atas 600 mdpl. Secara keseluruhan, faktor iklim meliputi curah hujan, suhu, dan kelembapan memiliki pengaruh sekitar 60% hingga 70% terhadap pertumbuhan kedelai sepanjang musim (Firmanto, 2021).

b. Tanah

Kedelai memiliki adaptasi luas terhadap berbagai jenis tanah, asalkan memiliki drainase dan aerasi yang baik serta ketersediaan air yang memadai selama pertumbuhan. Jenis tanah yang ideal meliputi aluvial, regosol, grumusol, latosol, dan andosol. Pada tanah yang kurang subur, miskin hara, atau berjenis podsolik merah-kuning, diperlukan penambahan pupuk organik dan pengapuran (Marwoto, 2018).

Secara umum, persyaratan tanah untuk produksi kedelai optimal yaitu:

- a) Subur dan gembur
- b) Kaya akan humus atau bahan organik
- c) Mempunyai pH (derajat keasaman) antara 5,8 sampai 7,0.

Tanah berpasir masih dapat digunakan jika ketersediaan air dan unsur hara mencukupi. Sementara itu, pada tanah dengan kandungan liat tinggi perlu dilakukan perbaikan sistem drainase agar pada saat hujan tanaman tidak tergenang air dan tidak kekurangan oksigen (Astri, 2018).

2.1.4. Proses perkecambahan benih

Perkecambahan benih adalah proses kompleks yang melibatkan berbagai perubahan dari embrio hingga menjadi kecambah. Secara morfologi, ditandai oleh perubahan bentuk embrio menjadi kecambah. Dari segi fisiologi, yaitu dimulainya kembali metabolisme dan pertumbuhan struktur embrio yang menembus kulit benih. Secara biokimiawi, terjadi rangkaian perubahan lintasan oksidatif dan biosintesis. Dalam konteks teknologi benih, perkecambahan menunjukkan kemampuan embrio untuk berkembang menjadi tanaman normal dan berproduksi optimal pada kondisi lingkungan yang optimum (Widajati dkk, 2013).

Menurut Widajati dkk. (2013) tahapan metabolisme perkecambahan dari benih mulai ditanam sampai benih tumbuh menjadi kecambah normal dapat dipisahkan menjadi dua tahap, yaitu:

a. Tahap I

Proses awal perkecambahan dari benih mulai ditanam sampai dengan retaknya kulit benih diikuti munculnya akar menembus kulit benih. Proses-proses yang terjadi di awal perkecambahan yaitu:

1. Imbibisi, penyerapan air oleh benih
2. Reaktivasi (aktivitas enzim, respirasi, sintesis RNA dan protein, serta pembentukan organel sel)
3. Inisiasi pertumbuhan embrio (mulai tumbuhnya embrio)
4. Retaknya kulit benih, munculnya akar menembus kulit benih

Beberapa hal yang bisa memengaruhi kecepatan imbibisi antara lain permeabilitas kulit benih, komposisi kimia benih, suhu, konsentrasi air, dan luas permukaan kontak yang berhubungan dengan air. Setelah imbibisi, selanjutnya terjadi reaktivasi enzim, peningkatan respirasi melalui beberapa lintasan untuk menghasilkan energi (ATP) yang digunakan untuk sintesis organel sel, sintesis RNA dan protein, terjadi inisiasi pertumbuhan embrio sampai dengan retaknya kulit benih kemudian akar muncul menembus kulit benih. Respirasi pada benih melalui beberapa lintasan yaitu glikolisis, siklus krebs, fosforilasi oksidatif, dan transport elektron.

b. Tahap II

Tahap perkecambahan lanjut yaitu sesudah gejala perkecambahan nampak. Pada tahap ini terjadi perombakan cadangan makanan (karbohidrat, lemak, protein dan phytin) yang digunakan untuk menghasilkan energi yang mendukung pertumbuhan kecambah sampai kecambah tersebut normal. Proses perombakan cadangan makanan untuk masing-masing senyawa melalui beberapa proses enzimatis. Hasil-hasil perombakan cadangan makanan berupa senyawa karbohidrat sederhana dimobilisasikan ke titik tumbuh untuk digunakan sebagai sumber energi untuk pertumbuhan. Adapun perombakan dan mobilitas diatur oleh fitohormon.

Proses perkecambahan benih merupakan tahap awal dari proses terbentuknya individu baru pada tumbuhan berbiji. Kelompok tumbuhan berbiji menghasilkan biji yang merupakan propagul untuk tumbuh menjadi individu baru demi tetap menjamin kelangsungan jenisnya. Di dalam biji terdapat berbagai komposisi kimia yang berperan sebagai embrio yang dapat aktif tumbuh menjadi individu baru apabila berada pada kondisi lingkungan yang sesuai meliputi kesesuaian faktor air, udara, cahaya, dan suhu (Setiawan dkk, 2021).

Perkecambahan meliputi beberapa tahapan, antara lain proses penyerapan air masuk ke dalam biji (imbibisi), sekresi hormon dan enzim, hidrolisis cadangan makanan, pengiriman bahan makanan terlarut dan hormon ke daerah titik tumbuh atau daerah lainnya serta asimilasi atau fotosintesis. Proses penyerapan air ke sel dalam biji merupakan proses fisika. Sumber air dalam proses perkecambahan biji bisa didapat dari penyiraman, adanya air hujan atau ketersediaan air di dalam tanah. proses penyerapan air pada biji/imbibisi terjadi melalui mikrofil. Air yang masuk ke dalam kotiledon menyebabkan volumenya bertambah, sehingga kotiledon membengkak. Pembengkakan tersebut pada akhirnya menyebabkan melunaknya biji, pecahnya testa.

Masuknya air pada biji menyebabkan enzim aktif bekerja dan proses ini berhubungan dengan aspek kimia. Enzim amilase bekerja memecah tepung menjadi maltosa, selanjutnya maltosa dihidrolisis oleh maltase menjadi glukosa. Protein juga dipecah menjadi asam amino. Senyawa glukosa masuk ke dalam proses metabolisme untuk menghasilkan energi atau diubah menjadi senyawa karbohidrat penyusun struktur tubuh. Asam amino dirangkaikan menjadi protein yang berfungsi untuk menyusun struktur sel dan menyusun enzim-enzim baru. Asam lemak terutama dipakai untuk menyusun membran sel.

Secara fisiologis, Proses perkecambahan berlangsung dalam beberapa tahapan penting yang meliputi:

1. Absorpsi atau penyerapan air, merupakan langkah awal dalam perkecambahan biji. Biji yang menyerap air atau mengalami imbibisi akan membengkak. Pembengkakan biji menyebabkan kulit biji pecah sehingga radikula tumbuh ke arah bawah dan membentuk akar. Faktor air sangat memengaruhi proses

perkecambahan. Keberadaan air dan faktor lingkungan yang mendukung sangat penting untuk pembentukan pertumbuhan awal kecambah suatu tanaman.

2. Metabolisme penguraian materi cadangan makanan. Proses ini merupakan pemecahan senyawa bermolekul besar dan kompleks menjadi bermolekul lebih kecil, sederhana, larut dalam air dan dapat diangkut melalui membran serta dinding sel. Cadangan makanan utama pada biji berupa pati, hemiselulosa, lemak, dan protein. Senyawa-senyawa ini tidak larut dalam air atau berupa koloid, terdapat dalam jumlah besar pada endosperm dan kotiledon, tidak dapat diangkut ke daerah yang memerlukan. Proses penguraian makromolekul ini dibantu oleh beberapa enzim, seperti amilase mengubah pati dan hemiselulosa menjadi gula, protease mengubah protein menjadi asam amino, lipase mengubah lemak menjadi asam lemak dan gliserol (Setiawan dkk, 2021).

2.1.5. Viabilitas dan vigor benih

Viabilitas benih didefinisikan sebagai daya hidup benih yang ditunjukkan oleh performa pertumbuhan atau perkecambahan pada kondisi optimum atau aktivitas metabolismenya (Despita dan Nizar, 2019). Viabilitas benih akan terjaga bila kadar air dan kualitas fisik benih dalam keadaan baik, serta tidak ada serangan hama penyakit sehingga proses kemunduran benih akan terhambat. Faktor yang berperan dalam mempertahankan viabilitas benih selama penyimpanan antara lain: kadar air benih, kelembaban nisbi ruangan, dan suhu ruang simpan (Setiawan dkk, 2021).

Vigor merupakan sejumlah sifat-sifat benih yang mengindikasikan pertumbuhan dan perkembangan kecambah yang normal, cepat, serta seragam pada kisaran kondisi lapang yang optimum maupun sub optimum (Tefa, 2017). Vigor benih adalah kemampuan benih untuk dapat tumbuh menjadi tanaman normal yang berproduksi normal pada kondisi sub optimum (Despita dan Nizar, 2019).

Perkecambahan adalah tahap awal yang sangat penting dalam siklus hidup tumbuhan, karena menentukan kemampuan tanaman untuk tumbuh dan berkembang secara mandiri di lingkungan tertentu. Viabilitas dan vigor merupakan komponen penilaian kualitas benih yang saling terkait. Vigor benih sendiri dipengaruhi oleh faktor internal seperti genetik, kemasakan dan ukuran biji, serta

deteriorasi. Adapun faktor eksternal berupa kondisi lingkungan yang dapat memengaruhi, meliputi kerusakan biji, keberadaan mikroorganisme dan patogen, ketersediaan air, salinitas, serta jenis media tanam (Tsegay dan Gebreslassie, 2014).

Mutu benih merupakan awal dari keberhasilan produksi tanaman serta berkaitan dengan viabilitas dan vigor benih (Fatikhasari dkk, 2022). Benih yang bermutu tinggi sangat dibutuhkan agar menghasilkan tanaman yang tinggi pula mutunya. Benih bermutu tinggi (benih vigor tinggi) memiliki potensi untuk berkecambah lebih cepat, menunjukkan persentase daya berkecambah yang tinggi, juga mampu tumbuh baik pada kondisi yang sub optimum di lapangan seperti kekeringan, salinitas, banjir dan lainnya. Kualitas benih terbaik dapat dicapai pada saat benih masak fisiologis, karena pada saat tersebut berat kering benih, viabilitas, dan vigornya paling tinggi (Setiawan dkk, 2021).

2.1.6. Deteriorasi

Deteriorasi atau kemunduran benih merupakan hilangnya kemampuan benih untuk berkecambah normal hingga dapat menunjang pertumbuhan tanaman. Kemunduran benih juga dapat dinyatakan sebagai proses penurunan mutu benih yang terjadi secara berangsur-angsur dan kumulatif serta tidak dapat kembali pada keadaan awal (*irreversible*) sebagai akibat adanya perubahan fisiologis yang disebabkan oleh faktor dalam, dapat dicirikan dengan menurunnya daya perkecambahan (Setiawan dkk, 2021). Secara fisiologis, kemunduran benih terlihat dari menurunnya daya berkecambah, peningkatan jumlah kecambah abnormal, lambatnya pemunculan kecambah di lapangan, serta terhambatnya pertumbuhan dan perkembangan tanaman, meningkatnya kepekaan terhadap lingkungan ekstrim yang akhirnya dapat menurunkan viabilitas serta memengaruhi produksi tanaman (Setiawan dkk, 2021).

Karakteristik benih seperti komposisi kimia, struktur, dan morfologi biji, kondisi lapang sebelum benih dipanen serta penyimpanan merupakan faktor yang berpengaruh terhadap mutu benih kedelai. Benih kedelai dikatakan mengalami kemunduran jika terjadi perubahan menyeluruh, baik secara fisik (kulit keriput dan kusam), fisiologis (penurunan daya berkecambah dan peningkatan kecambah abnormal), maupun kimiawi (perubahan aktivitas enzim, respirasi, laju sintesis,

perubahan membran, dan perubahan kromosom) yang akhirnya mengarah pada kematian (Sucahyono, 2013).

Menurut Sucahyono (2013), benih kedelai mengandung protein cukup tinggi ($\pm 37\%$). Komposisi kimia benih yang didominasi protein menyebabkan sangat higroskopis sehingga mudah menahan dan menyerap uap air, serta rentan mengalami denaturasi. Denaturasi protein ini merupakan faktor internal penting yang berkontribusi pada kemunduran benih. Denaturasi protein terjadi pada protein histon dan kromosom yang dapat menghambat aktivitas DNA, pada protein enzim yang dapat menghambat reaksi-reaksi biokimia dalam benih, serta pada protein membran yang menyebabkan penurunan integritas membran sel benih.

2.1.7. Invigorasi benih

Invigorasi benih merupakan perlakuan secara fisik dan/atau kimiawi untuk meningkatkan vigor benih yang telah mengalami kemunduran atau deteriorasi (Ilyas, 2012) atau untuk mempertahankan vigor benih selama proses pendistribusian, sehingga perkecambahan dan pertumbuhan bibit tetap tinggi. Proses invigorasi mendorong terjadinya peningkatan kecepatan dan keserempakan perkecambahan serta mengurangi pengaruh cekaman lingkungan (Widiastuti dan Wahyuni, 2020).

Metode yang dapat dilakukan sehubungan dengan perlakuan invigorasi benih sebelum tanam yaitu *osmoconditioning* (*conditioning* dengan menggunakan larutan osmotik) dan *matricconditioning* (*conditioning* dengan menggunakan media padat lembap). Kedua teknik ini juga dapat diintegrasikan dengan aplikasi perlakuan benih lainnya seperti penambahan zat pengatur tumbuh, insektisida dan inokulasi mikroba bermanfaat seperti *rhizobium*, bakteri pelarut P serta mikroba antagonis (Sucahyono, 2013).

Perbaikan mutu benih dapat dilakukan dengan invigorasi benih melalui cara *priming* untuk memaksimalkan potensi viabilitas benih. *Priming* benih adalah teknik hidrasi terkontrol yang memicu proses metabolisme normal selama fase awal perkecambahan sebelum penonjolan radikula (Hussain *et al.*, 2015). *Priming* merupakan usaha yang dapat dilakukan sebelum benih ditanam, bertujuan untuk meningkatkan viabilitas benih yang sudah menurun. Pada umumnya *priming*

dilakukan pada benih yang telah mengalami masa penyimpanan. Ahli benih telah banyak meneliti mengenai upaya untuk meningkatkan performa benih yang telah mengalami kemunduran, yaitu dengan invigorasi atau memperbaiki vigor benih melalui *priming* benih (Setiawan dkk, 2021).

Priming benih dapat meningkatkan sistem pertahanan antioksidan dalam sel, memperbaiki perkecambahan dan vigor, serta meminimalisir dampak negatif cekaman (Haider *et al.*, 2019), serta dianggap sebagai cara yang mudah untuk meningkatkan dan memperbaiki fase perkecambahan dan pertumbuhan bibit (Suryaman, Yulianto, dan Amanah, 2023). Perlakuan *priming* dapat meningkatkan waktu kemunculan bibit dan meningkatkan pembentukan tegakan (Nawaz *et al.*, 2013). *Priming* benih dapat memanfaatkan ekstrak dari tanaman maupun zat pengatur tumbuh sintetis.

Perlakuan *priming* pada benih tanaman termasuk salah satu alternatif untuk meningkatkan ketahanan kecambah terhadap kondisi lingkungan tumbuh kurang optimum. Perlakuan *priming* benih dapat meningkatkan nilai persentase daya kecambah dan kecepatan kecambah (Kurnia, Pudjihartati, dan Hasan, 2016). *Priming* benih adalah teknik yang efektif, praktis, dan mudah untuk meningkatkan kemunculan yang cepat dan seragam, kekuatan bibit yang tinggi, serta hasil yang lebih baik pada banyak jenis tanaman terutama di bawah kondisi lingkungan tidak menguntungkan (Jisha, Vijayakumari, dan Puthur, 2013). Invigorasi benih melalui proses *priming* berpengaruh positif terhadap pertumbuhan awal tanaman, pertumbuhan kecambah, dan kecepatan tumbuh berkecambah pada tanaman jagung dan gandum (Wahdah, Ellya, dan Hairina, 2020).

2.1.8. Hormon GA₃

Hormonal *priming* merupakan *priming* dengan hormon dan sumber organik lainnya. Aplikasi zat pengatur tumbuh pada benih berpengaruh terhadap vigor dan pertumbuhan bibit, namun efektivitasnya bergantung pada jenis dan konsentrasi zat pengatur tumbuh (Wahyuni, 2011). Giberelin merupakan hormon tumbuh yang berperan penting dalam proses perkecambahan, karena dapat mengaktifkan reaksi enzimatik di dalam benih. Giberelin memainkan peran penting dalam banyak aspek pertumbuhan dan perkembangan tanaman, seperti perkecambahan biji,

perpanjangan batang, akar, dan perkembangan bunga. Giberelin juga berperan penting dalam meningkatkan panjang radikula kecambah (Lutfiah dkk, 2021).

Giberelin berperan dalam pembentukan polihidroksi dari asam sinamat yaitu senyawa yang dapat menghambat kerja enzim IAA oksidase. Giberelin memicu pembentukan enzim α -amilase yang berfungsi memecah amilum, hasil dari proses pemecahan amilum tersebut akan dapat digunakan dalam proses respirasi mitokondria, sehingga ATP yang dihasilkan akan digunakan dalam proses pembentangan sel (Permatasari, Rahayu, dan Ratnasari, 2016).

2.1.9. Ekstrak eceng gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms)

Ekstrak daun eceng gondok dapat digunakan sebagai pupuk organik untuk perkecambahan benih dan pertumbuhan bibit serta meningkatkan jumlah hara dalam tanah (Poudel, Mandal, dan Ghimire, 2018). Akar eceng gondok mengandung hormon tumbuh, yaitu giberelin. Filtrat eceng gondok mempunyai efek seperti ZPT alami pada media AB mix pada kangkung (*Ipomoea reptans*, Poir) yang ditanam dengan sistem hidroponik (Widodo, Suharti, dan Listiana, 2016).

Eceng gondok adalah tumbuhan gulma air yang memiliki potensi sebagai sumber giberelin. Ekstrak akar eceng gondok dilaporkan memiliki kandungan giberelin sebesar 2995,50 ppm (Ummah dan Rahayu, 2019) sedangkan ekstrak daunnya memiliki kandungan giberelin sebesar 141,55 ppm (Sodiq *et al.*, 2019). Eceng gondok mengandung alkaloid, flavonoid, phenol, sterol, terpenoid, anthoquinone, dan protein (Thamaraiselvi *et al.*, 2012).

Aplikasi giberelin eksogen yang diekstraksi dari akar eceng gondok menunjukkan viabilitas terbaik dan waktu perkecambahan terpendek. Hasil temuan menunjukkan adanya sinergisme positif antara giberelin eksogen dan endogen pada efek proses *Annona muricata*, *Manilkara kauki*, dan *Dimocarpus longan* (Ummah dan Rahayu, 2019). Menurut Permatasari dkk. (2016) giberelin pada akar eceng gondok dapat mempercepat proses pembentukan bunga dan meningkatkan jumlah produksi buah cabai.

2.2. Kerangka berpikir

Kedelai termasuk dalam kategori benih ortodoks dengan kandungan protein tinggi, namun memiliki daya simpan relatif pendek (Kurniyawati, 2022). Benih

kedelai hanya mampu bertahan hingga 3 bulan pada penyimpanan terbuka dengan kadar air 11% (Wirawan dan Wahyuni, 2002). Sementara itu, pada kondisi penyimpanan terkendali dengan suhu 18°C dan kelembapan nisbi 65%, daya simpan dapat mencapai 6 sampai 9 bulan. Kemunduran mutu benih yang cepat saat disimpan secara terbuka menjadi tantangan utama dalam produksi kedelai di daerah tropis. Hal ini disebabkan oleh tingginya kandungan lemak dan protein (Tatipata dkk, 2004) yang dapat mempercepat penurunan mutu jika kondisi penyimpanan tidak optimal (Mustika dkk, 2014). Proses kemunduran mutu ini ditandai dengan penurunan daya berkecambah dan meningkatnya jumlah kecambah abnormal yang berdampak negatif pada pertumbuhan tanaman (Sucahyono, 2013).

Salah satu solusi untuk meningkatkan vigor dan kemampuan benih dalam menyerap air adalah dengan teknik invigorasi melalui *priming* benih yang juga berguna untuk rekomendasi penanaman dalam kondisi suboptimal (Widiastuti dan Wahyuni, 2020). Giberelin sebagai hormon berperan penting dalam mendukung pertumbuhan tanaman dari tahap perkecambahan hingga dewasa (Andriani, 2020). *Priming* giberelin secara signifikan mempercepat waktu munculnya kecambah dan meningkatkan kecepatan perkecambahan (Lutfiah dkk, 2021). Diah dan Alfandi (2013) menyatakan bahwa membiarkan biji direndam akan meningkatkan kadar GA₃ bebas yang mengaktifkan enzim hidrolitik dalam pencernaan yang akan menghidrolisis zat cadangan makanan sebagai energi bagi benih untuk tumbuh secara homogen.

Priming giberelin 50 ppm selama 14 jam merupakan *priming* terbaik dalam variabel waktu munculnya kecambah (hari), T50%, dan kecepatan berkecambah pada tanah ultisol. *Priming* giberelin 50 ppm memberikan waktu tercepat pada variabel waktu munculnya kecambah pada hari ke 2,52 dibandingkan *priming* air yang muncul pada hari ke 3,03. *Priming* giberelin 50 ppm juga memberikan waktu tercepat dalam munculnya kecambah sebanyak 50% yaitu pada hari ke 2,66 dibandingkan *priming* air yang muncul pada hari ke 3,25. Selain itu, *priming* giberelin memiliki nilai kecepatan perkecambahan 40,21%/hari, lebih cepat dibandingkan *priming* air yaitu sebesar 32,69%/hari (Lutfiah dkk, 2021).

Beberapa hasil penelitian pada benih padi menunjukkan bahwa asam giberelat (GA_3) merangsang pemanjangan mesokotil, koleoptil, dan ruas batang setelah perkecambahan padi, sedangkan kombinasi GA_3 10 ppm + kinetin 5% pada benih padi menghasilkan daya berkecambah padi tertinggi (Wahyuni, 2011). Berdasarkan penelitian Ayuningtyas, Tahir, dan Same (2017) perendaman benih dengan GA_3 terbaik pada konsentrasi 1.500 mg/L dapat meningkatkan daya kecambah, persentase benih berkecambah, diameter hipokotil, panjang hipokotil, homogenitas pertumbuhan, dan vigor benih cemara laut. Interaksi antara konsentrasi GA_3 dan waktu perendaman terbaik pada perlakuan konsentrasi GA_3 1.500 mg/L dan waktu perendaman selama 9 jam dapat meningkatkan daya kecambah, persentase benih berkecambah, diameter hipokotil, panjang hipokotil, homogenitas pertumbuhan, dan vigor benih cemara laut.

Pemberian giberelin 25 ppm efektif dalam meningkatkan bobot basah kecambah (1,18 gram) dibandingkan kontrol (0,97 gram) dan bobot kering kecambah normal (0,47 gram) pada perlakuan giberelin 25 ppm dibandingkan dengan kontrol (0,4 gram). Konsentrasi 50 ppm efektif dalam meningkatkan panjang epikotil (4,9 cm) dibandingkan dengan perlakuan kontrol (3,9 cm). Adapun konsentrasi 75 ppm efektif dalam meningkatkan daya kecambah dan panjang radikula pada benih jeruk. Perlakuan giberelin 75 ppm menunjukkan daya kecambah terbaik (77,5%) dibandingkan kontrol (49,16%). Pada parameter panjang radikula menunjukkan perlakuan giberelin 75 ppm memiliki hasil terbaik (8,39 cm) dibandingkan kontrol (5,93 cm). Lama perendaman 24 jam efektif dalam meningkatkan panjang epikotil, bobot basah, dan bobot kering kecambah normal. Lama perendaman 36 jam efektif dalam meningkatkan daya kecambah dan lama perendaman 48 jam efektif dalam meningkatkan laju perkecambahan. Interaksi giberelin 75 ppm dan lama perendaman 36 jam efektif dalam meningkatkan daya kecambah pada benih jeruk (Nirmala, 2019).

Pemberian hormon giberelin, baik secara sintetik dengan GA_3 maupun hormon alami melalui ekstrak eceng gondok menunjukkan pengaruh yang positif terhadap viabilitas dan vigor benih. Berdasarkan penelitian Husnul (2024) dapat diketahui bahwa berbagai konsentrasi ekstrak akar eceng gondok berpengaruh

terhadap viabilitas dan vigor benih kedelai kedaluwarsa yaitu pada variabel daya tumbuh, keserempakan tumbuh, kecepatan tumbuh, indeks vigor dan bobot kering kecambah normal metode substrat pasir. Ekstrak akar eceng gondok 50 g/L merupakan konsentrasi terbaik dalam meningkatkan viabilitas dan vigor benih kedelai kedaluwarsa.

Menurut Ummah dan Rahayu (2019) konsentrasi optimal ekstrak akar eceng gondok sebagai *priming* organik yang menghasilkan daya berkecambah 80,55% pada benih lengkung adalah 0,05% (500 ppm). Adapun menurut penelitian Wahdah dkk. (2020) perlakuan *priming* benih kacang tunggak nagara dengan ekstrak akar eceng gondok berpengaruh nyata terhadap semua peubah, kecuali panjang akar kecambah. Perlakuan *priming* 0,0% ekstrak eceng gondok pada semua peubah yang dipengaruhi perlakuan lebih baik daripada perlakuan tanpa *priming*. Perlakuan *priming* 7,5% paling efisien untuk daya berkecambah benih, potensi perkecambahan benih, dan keserempakan tumbuh benih. Perlakuan *priming* 22,5% paling efisien untuk persentase perkecambahan hari ke-5, kecepatan tumbuh benih, panjang plumula, dan berat kering kecambah normal.

Konsentrasi ekstrak akar eceng gondok 225 g/L adalah ekstrak akar eceng gondok terbaik yang dapat menghasilkan jumlah buah tanaman rata-rata 331,6 buah, hasil rata-rata bobot buah 326,4 gram per tanaman dengan tebal kulit rata-rata 0,136 mm per tanaman, rata-rata jumlah biji 11,4 biji dan rata-rata bobot biji 0,1238 gram per cabe rawit. Penelitian ini menyimpulkan bahwa ekstrak akar eceng gondok dapat mengurangi jumlah biji dan meningkatkan bobot tanaman serta hasil panen cabai rawit dengan konsentrasi optimal 225 g/L (Andriani, 2020).

Hasil penelitian Sagita dan Rahayu (2022) menunjukkan bahwa terdapat pengaruh perlakuan konsentrasi dan masa kedaluwarsa terhadap parameter perkecambahan dan parameter pertumbuhan benih bayam. Konsentrasi ekstrak akar eceng gondok 100 g/L dan masa kedaluwarsa benih 1 bulan mampu memberikan hasil terbaik terhadap seluruh parameter perkecambahan, meliputi indeks vigor (83,33%), daya berkecambah (83,33%), kecepatan tumbuh (70,34%/Etmal), keserempakan tumbuh (73,33%), dan parameter pertumbuhan biomassa basah tanaman bayam (6,33 gram), namun pada parameter tinggi tanaman menunjukkan

konsentrasi ekstrak akar eceng gondok 75 g/L dan masa kedaluwarsa benih 3 bulan sebagai perlakuan dengan hasil terbaik (6,45 cm).

Upaya intensifikasi pertanian dengan memanfaatkan ZPT alami dapat berpengaruh terhadap kualitas dan kuantitas tanaman. Efisiensi penggunaan ZPT sintetis dapat ditingkatkan dengan penambahan konsentrasi ZPT dari bahan alami yang tersedia cukup banyak dan mudah didapat dengan harga yang relatif rendah. Untuk itu, perlu dikaji lebih lanjut terkait apakah penggunaan campuran zat pengatur tumbuh efektif terhadap perkecambahan benih kedelai dan berapakah konsentrasi terbaiknya.

Kombinasi perlakuan antara GA₃ dengan ekstrak eceng gondok dapat menggunakan berbagai perbandingan. Adapun perbandingan konsentrasi antara ZPT sintetis dengan ZPT alami yang umumnya digunakan yaitu, 100% ZPT sintetis, 75 % ZPT sintetis + 25% ZPT alami, 50% ZPT sintetis + 50% ZPT alami, 25% ZPT sintetis + 75% ZPT alami, serta 100% ZPT alami (Irawan, Sasli, dan Abdurrahman, 2022). Konsentrasi optimal dari kombinasi tersebut bervariasi tergantung pada jenis tanaman dan kondisi pertumbuhan.

2.3. Hipotesis

Berdasarkan kerangka pemikiran yang telah diuraikan, dapat disusun hipotesis sebagai berikut :

1. Konsentrasi GA₃ dan ekstrak eceng gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) serta kombinasinya berpengaruh terhadap viabilitas dan vigor benih kedelai (*Glycine max* L. Merrill).
2. Terdapat konsentrasi GA₃ dan ekstrak eceng gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) serta kombinasinya yang berpengaruh paling baik terhadap viabilitas dan vigor benih kedelai (*Glycine max* L. Merrill).