

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kedelai menjadi salah satu komoditas unggulan strategis, kebutuhan industri pangan dalam negeri terhadap komoditas tersebut cukup tinggi sehingga kedelai menjadi salah satu tanaman penting bagi Indonesia setelah padi dan jagung (Badan Pusat Statistika, 2020). Kedelai merupakan sumber protein yang baik dan murah (Khojely *et al.* 2019), oleh karena itu permintaan kedelai meningkat dari waktu ke waktu. Jumlahnya mencapai 8,96 kg per kapita per tahun pada tahun 2019 dan diperkirakan akan menjadi 9,78 kg per kapita per tahun (Kementerian Pertanian, 2019).

Kedelai (*Glycine max* L.) merupakan salah satu tanaman polong-polongan yang paling penting secara ekonomi dan menyediakan lebih dari 1/4 kebutuhan pangan (bagi manusia) dan pakan ternak, namun hasil panennya relatif rendah terutama di bawah tekanan kekeringan. Produksi kedelai dalam negeri semakin melemah dengan adanya persoalan cekaman kekeringan yang mempengaruhi semua aspek pertumbuhan dan metabolisme tanaman termasuk keseimbangan osmotic (Wang *et al.* 2022).

Kekeringan adalah salah satu faktor abiotik paling penting yang mempengaruhi hasil kedelai. Telah diakui bahwa toleransi terhadap kekeringan merupakan wilayah sasaran penting untuk pengembangan dan peningkatan tanaman. Budidaya kedelai terutama bergantung pada curah hujan alami, namun curah hujan yang tidak teratur dapat menyebabkan perbedaan hasil di lahan yang sama, dan kedelai sangat sensitif terhadap kekeringan, terutama pada fase pertumbuhan reproduktif (Igiehon *et al.* 2019).

Cekaman kekeringan dapat menurunkan berat dan ukuran biji (selama pengisian biji) tergantung pada waktu, durasi, dan tingkat keparahan cekaman. Tanaman kedelai yang mengalami kekeringan parah pada tahap-tahap tertentu dalam siklus hidupnya menurunkan berat biji individu dari 0,21 menjadi 0,18 g dalam satu percobaan rumah kaca dan dari 0,20 menjadi 0,17 g pada percobaan lain (Sheteiwy *et al.* 2021). Dalam penelitian lain, tanaman kedelai yang mengalami kekeringan sebelum berbunga menghasilkan hasil biji yang lebih tinggi daripada tanaman yang mengalami stres setelah berbunga, karena tanaman yang terpapar kekeringan pada tahap pertumbuhan awal telah membentuk sistem perakaran yang lebih besar sebelum berbunga sebagai respon terhadap aklimatisasi. Oleh karena itu, selama tahap pembungaan dan pengisian polong, tanaman kedelai sangat sensitif terhadap cekaman kekeringan (Buezo *et al.* 2019). Namun, cekaman kekeringan selama tahap pembesaran polong dan pengisian biji memiliki efek negatif yang signifikan terhadap hasil akhir dan komponen hasil (Huang *et al.* 2023). Oleh karena itu, merupakan masalah yang mendesak untuk mengembangkan strategi praktis untuk mengurangi dampak buruk dari defisit air terhadap produksi kedelai.

Mikroorganisme pemacu pertumbuhan tanaman seperti rhizobium dapat meningkatkan toleransi tanaman terhadap berbagai tekanan lingkungan dengan meningkatkan nutrisi mineral dan perolehan air dan dengan demikian meningkatkan hasil panen (Begum *et al.* 2019), dan juga dapat mempengaruhi keseimbangan air tanaman inang yang disiram dengan cukup dan tanaman inang yang mengalami kekeringan (Shateiwy *et al.* 2021). Rhizobium dapat mengganggu konduktansi stomata dan dengan demikian meningkatkan toleransi

cekaman kekeringan (Tarnabi *et al.* 2019), serta mengurangi kerusakan oksidatif dengan merangsang aktivitas antioksidan enzimatis dan non-enzimatis yang lebih tinggi, selain itu pemanfaatan rizhobium mengubah kandungan prolin pada jaringan daun (El-Sawah *et al.* 2021).

Rhizobium memainkan peran penting dalam pertanian, karena kemampuannya untuk fiksasi nitrogen biologis dan akibatnya mengurangi kebutuhan pupuk nitrogen kimia (Mng'ong'o *et al.* 2023). Namun, beberapa faktor yang terkait dengan tanaman inang, spesies bakteri, dan variabel tanah edafik, terutama kekeringan, dapat membatasi kontribusi fiksasi nitrogen terhadap kinerja pertumbuhan tanaman (Tang *et al.* 2019). Sebuah studi baru-baru ini menunjukkan bahwa inokulasi tanah dengan strain Rhizobium meningkatkan nodulasi, asimilasi nitrogen, dan hasil kacang-kacangan (Liu *et al.* 2019).

Rhizobium dapat meningkatkan ketersediaan hara mineral bagi tanaman kedelai dan mengurangi efek defisit air pada pertumbuhan kedelai. Oleh karena itu, analisis lebih lanjut terhadap respon morfologis tanaman kedelai terhadap kekeringan menjelaskan mekanisme yang mendasari yang mengatur adaptasi tanaman kedelai terhadap cekaman kekeringan. Selain itu, pemanfaatan rhizobium juga dianalisis untuk menjelaskan lebih lanjut potensi kemampuan rizobia dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman kedelai pada kondisi cekaman kekeringan. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk memahami, mengevaluasi, dan memaksimalkan penggunaan inokulasi mikroba untuk memberikan dasar teoritis dan praktis dalam penerapannya sebagai teknologi alternatif pemupukan untuk kedelai yang tahan kekeringan dan berproduksi tinggi di daerah yang kekurangan air.

## **1.2 Tujuan Penelitian**

1. Mengetahui pengaruh pemberian rhizobium terhadap respons morfologi tanaman kedelai
2. Mengetahui pengaruh perbedaan varietas terhadap respons morfologi tanaman kedelai
3. Mengetahui pengaruh pemberian rhizobium terhadap respons morfologi beberapa varietas kedelai
4. Mengetahui pengaruh pemberian rhizobium pada kondisi cekaman kekeringan terhadap morfologi tanaman kedelai
5. Mengetahui pengaruh cekaman kekeringan terhadap respons morfologi beberapa varietas kedelai

## **Hipotesis Penelitian**

1. Ada pengaruh pemberian rhizobium terhadap respons morfologi tanaman kedelai
2. Ada pengaruh perbedaan varietas terhadap respons morfologi tanaman kedelai
3. Ada pengaruh pemberian rhizobium terhadap respons morfologi beberapa varietas kedelai
4. Ada pengaruh pemberian rhizobium pada kondisi cekaman kekeringan terhadap morfologi tanaman kedelai
5. Ada pengaruh cekaman kekeringan terhadap respons morfologi beberapa varietas kedelai

## **Manfaat Penelitian**

1. Sebagai bahan informasi bagi semua pihak yang membutuhkan, terutama bagi petani yang membudidayakan tanaman kedelai di lahan kering.

2. Memberikan informasi bagi petani kedelai mengenai pemanfaatan rhizobium untuk mengantisipasi kekeringan

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Botani dan Morfologi Kedelai

Menurut van Steenis (2003) klasifikasi tanaman kedelai adalah sebagai berikut:

Kingdom : Plantae

Divisio : Spermatophyta

Sub Divisio : Angiospermae

Class : Dicotyledoneae

Ordo : Leguminales

Famili : Leguminosae

Genus : Glycine

Species : *Glycine max* L.Merill.

Akar kedelai terdiri dari akar lembaga, akar tunggang dan akar cabang yang berupa akar rambut dan dapat membentuk bintil akar dan juga merupakan koloni bakteri *Rhizobium*. Akar tunggangnya dapat menembus tanah yang gembur sedalam 150 cm sedangkan bintil akarnya mulai terbentuk pada umur 15-20 hari setelah tanam. Antara *Rhizobium* dan tanaman kedelai terjadi kerja sama yang saling menguntungkan (Sahuri *et al.* 2023).

Pertumbuhan batang kedelai dibedakan menjadi dua tipe, yaitu tipe determinate dan indeterminate. Batang tanaman kedelai berasal dari poros embrio yang terdapat pada biji masak. Hipokotil merupakan bagian terpenting pada poros embrio, yang berbatasan dengan bagian ujung bawah permulaan akar yang menyusun bagian kecil dari poros bakal akar hipokotil. Bagian atas poros embrio berakhir pada epikotil yang terdiri dari dua daun sederhana, yaitu primordia daun

bertiga pertama dan ujung batang. Sistem perakaran diatas hipokotil berasal dari epikotil dan tunas aksiler (Paes de Melo *et al.* 2020).

Daun tanaman kedelai termasuk daun majemuk yang terdiri atas tiga helai anak daun (trioliate leaves). Bentuk daun kedelai ada dua, yaitu berbentuk bulat (oval) dan lancip (lanceolate). Bentuk daun kedelai dipengaruhi pada daerah yang kesuburan tanahnya tinggi sehingga bentuk daunnya cenderung lebih besar. Umumnya daun kedelai mempunyai bulu dan warnah cerah serta jumlahnya bervariasi. Daun berfungsi sebagai alat untuk proses asimilasi, transpirasi dan respirasi. Bulu pada daun kedelai berhubungan dengan tingkat toleransi varietas kedelai hitam terhadap serangan jenis hama tertentu (Fattah *et al.* 2024).

Tanaman kedelai memiliki bunga yang sempurna yaitu memiliki alat kelamin betina dan jantan. Kedelai mulai berbunga pada umur 30-50 hari setelah tanam, tergantung varietasnya. Bunga kedelai disebut bunga kupukupu yang tersusun dalam rangkaian bunga. Pembungaan sangat dipengaruhi oleh lamanya penyinaran dan suhu. Ketika buku kotiledon, daun primer, dan daun bertiga dalam fase vegetatif, bunga pertama muncul pada buku kelima atau keenam dan atau buku diatasnya. Bunga muncul kearah ujung batang utama dan kearah ujung cabang (Irwan *et al.* 2019).

Benih kedelai terdiri dari dua komponen utama: kulit biji dan embrio. Sebagai biji dikotil, biji kedelai tidak mengandung endosperma. Embrio terdiri dari tiga sistem organ embrio utama: plumula dengan dua daun primer yang berkembang dengan baik yang membungkus satu primordium daun trifoliolat, dua kotiledon berdaging besar yang berfungsi sebagai organ penyimpan cadangan makromolekul di dalam biji kedelai, dan sumbu hipokotil-kotiledon yang berada

di dalam cekungan dangkal yang dibentuk oleh kotiledon. Polong muda berwarna hijau dan berubah menjadi kuning atau coklat setelah matang. Pada polong terdapat trikoma (bulu) dengan intensitas kepadatan dan panjang yang berlainan tergantung varietasnya (Sun dan Yuan, 2022).

Kedelai Varietas Dering berasal dari persilangan tunggal antara galur Agr/GCP-335 dengan varietas Baluran. Dering memiliki warna hipokotil dan warna bunga ungu, warna bulu coklat tua, warna kotiledon putih, warna hilum coklat muda. Umur berbunga  $\pm 33$  HST, umur masak polong  $\pm 76$  HST, tahan rebah, jumlah percabangan 2 – 6, jumlah polong  $\pm 38$  per tanaman. Polong tidak mudah pecah. Bentuk biji lonjong. Warna biji kuning, kecerahan kulit biji kusam, ukuran biji sedang (10,7 g/100 biji), potensi hasil 2,83 t/ha, rata-rata hasil 1,95 t/ha, toleran kekeringan selama fase reproduktif, rentan hama ulat grayak (*Spodoptera litura*), tahan hama penggerek polong (*Etiella zinckenella*) dan tahan penyakit karat daun (*Phakopsora pachyrhizi*) (Dinas Pertanian dan Ketahanan Pangan Yogyakarta, 2023).

## **2.2 Syarat Tumbuh**

Kedelai dapat tumbuh pada kondisi suhu yang beragam. Suhu tanah yang optimal dalam proses perkecambahan yaitu 30°C. Curah hujan berkisar antara 150-200 mm untuk bulan pertama, dengan lama penyinaran matahari 12 jam pada hari pertama penanaman, dan kelembaban rata-rata (RH) 65 % (Lamichhane *et al.* 2020).

Nilai pH ideal bagi pertumbuhan kedelai adalah 6,0-6,8 sehingga memungkinkan efisiensi input tanaman secara maksimal, dan berpotensi mengurangi risiko kehilangan hasil panen. Selain melindungi hasil panen,

kesuburan tanah yang memadai membantu mengurangi dampak dari tekanan seperti cuaca, penyakit, dan nematoda. Apabila pH diatas 7,0 tanaman kedelai akan mengalami klorosis, sehingga tanaman menjadi kerdil dan daunnya menguning (Priyadarshini *et al.* 2021).

Kedelai dapat tumbuh baik pada berbagai jenis tanah dengan drainase dan aerasi tanah yang cukup baik. Tanah yang cocok yaitu alluvial, regosol, grumosol, latosol, dan andosol. Tanah podsolik merah kuning dan tanah yang mengandung banyak pasir kwarsa, pertumbuhan kedelai kurang baik, karena mengandung masam kecuali bila diberi tambahan pupuk organik atau kompos dalam jumlah yang cukup (Singh *et al.* 2023).

### **2.3 Varietas**

Varietas tanaman yang selanjutnya disebut varietas, adalah sekelompok tanaman dari suatu jenis atau spesies yang ditandai oleh bentuk tanaman, pertumbuhan tanaman, daaun, bunga, buah, biji dan ekspresi karakteristik genotip atau kombinasi genotip yang dapat membedakan dari jenis atau spesies yang sama dan sekurang-kurangnya terdapat satu sifat yang menentukan dan apabila diperbanyak tidak mengalami perubahan. Varietas unggul berasal dari lokal, varietas liar, varietas introduksi, galur homozigot, mutan atau genus-genus yang sama, yang mempunyai potensi hasil tinggi dan sesuai dengan target pemuliaan yang diinginkan. Varietas unggul hasil pemuliaan tanaman melibatkan identifikasi tanaman induk dengan karakteristik yang diinginkan untuk menciptakan kombinasi yang menguntungkan pada generasi berikutnya (Kaiser *et al.* 2020).

Pengaruh lingkungan dan faktor keturunan atau genetik menyebabkan terjadinya variasi. Perubahan lingkungan menginduksi peralihan genetik baik

secara independen maupun sebagai pelengkap dari variasi genetik. Meskipun sebagian besar variabilitas genetik yang diinduksi akan diatur ulang di antara generasi dan berumur pendek, beberapa variasi menjadi transgenerasi dan menghasilkan sifat fenotipik yang dapat diwariskan. Bila ada variasi yang timbul atau tampak pada populasi tanaman yang akan ditanam pada kondisi lingkungan yang sama maka variasi tersebut merupakan variasi atau perbedaan yang berasal dari genotip individu anggota populasi (Rajpal *et al.* 2022).

Deskripsi varietas pada umumnya mencantumkan tingkat hasil berupa rata-rata dari seluruh multikolasi. Tingkat hasil pada pengujian lainnya dapat saja lebih rendah atau lebih tinggi. Misalnya hasil kedelai varietas willis dilaporkan mencapai 2-3 ton/ha di lokasi tertentu dengan penggunaan masukan yang tertentu pula. Untuk meningkatkan hasil secara berkelanjutan pengelolaan tanah secara optimal seperti penggunaan pupuk untuk nutrisi dan karbohidrat yang baik serta pengelolaan intensif pada kondisi iklim (McLeod *et al.* 2020).

#### **2.4 *Rhizobium***

Ada banyak mikroba tanah yang dapat menyuburkan tanah dan meningkatkan hasil panen, salah satunya adalah *Rhizobium*. Bakteri ini mampu hidup di dalam tanah atau di dalam bintil akar tanaman kacang-kacangan dan menambat nitrogen (N) dari atmosfer untuk menyuplai N ke tanaman. Peranan *Rhizobium* terhadap pertumbuhan tanaman khususnya berkaitan dengan masalah ketersediaan hara bagi tanaman inangnya. Simbiosis ini menyebabkan bakteri *Rhizobium* dapat menambat nitrogen dari atmosfer, dan selanjutnya dapat digunakan oleh tanaman inangnya (Purwaningsih *et al.* 2021).

Rhizobium dimanfaatkan sebagai pupuk hayati yang mengandung bakteri *Acetobacter* yang memiliki kemampuan untuk mengkolonisasi akar tanaman dan mengikat Nitrogen di atmosfer. Keuntungan rhizobia sebagai pupuk hayati sangat penting untuk meningkatkan hasil panen dan meningkatkan akumulasi hara tanaman, seperti Fosfor, Kalium, Kalsium, Magnesium, dan bahkan Besi. Rhizobium adalah pupuk hayati yang mengandung bakteri Rhizobium simbiotik, yang merupakan organisme penambat nitrogen yang penting bagi tanaman (Lindstrom dan Mousavi, 2020).

Rhizobium dapat meningkatkan penyerapan fosfat. Fosfat merupakan unsur hara utama dalam perkembangan akar dan pembentukan polong kedelai. Aplikasi inokulum rhizobium pada tanaman kacang tanah dapat meningkatkan bintil akar yang berfungsi untuk memfiksasi nitrogen bagi tanaman. Rhizobium mampu meningkatkan ketersediaan dan penyerapan nitrogen di dalam tanah serta menyumbangkan zat fitohormon IAA dan giberelin yang dapat meningkatkan pertumbuhan akar dan cabang tanaman kedelai (Afzal *et al.* 2019).

## **2.5 Cekaman Kekeringan**

Cekaman kekeringan menyebabkan penurunan kualitas karakteristik morfologi, fisiologi dan biokimia, dan akibatnya, menurunkan pertumbuhan dan hasil panen. Salah satu reaksi pertama tanaman yang terpapar kekeringan adalah penutupan stomata dan penurunan konsentrasi CO<sub>2</sub> serta fotosintesis, yang berpotensi menyebabkan kematian tanaman di bawah tekanan yang parah. Penurunan perkembangan daun di bawah kekeringan juga berdampak buruk pada fotosintesis, karena penurunan kandungan air disertai dengan penurunan kandungan air relative (Abdelaal *et al.* 2021).

Adaptasi tanaman terhadap kekeringan bervariasi tergantung jenis tumbuhan dan tahap-tahap perkembangan tumbuhan. Dalam kondisi kekeringan, tanaman menutup pori-pori stomata mereka, mengurangi penyerapan dan fiksasi CO<sub>2</sub>, yang menyebabkan perubahan besar dalam metabolisme, terutama fotosintesis, dan peningkatan ekstrim dalam pembentukan spesies oksigen reaktif (ROS) (yaitu, stres oksidatif yang meningkat) (Ali *et al.* 2020). Sel-sel tanaman mengandung sistem pertahanan yang efisien untuk mengais ROS; sistem antioksidan enzimatik dan nonenzimatik ini memainkan peran penting dalam melindungi kloroplas dan mitokondria dari stres oksidatif yang disebabkan oleh berbagai faktor stress (El-Nashaar *et al.* 2020).

Kekeringan pada tanaman dapat menyebabkan konduktansi stomata menurun, laju fotosintesis menurun, peningkatan sintesis dari asam absisat, sorbitol, oroline, mannitol, serta beberapa senyawa pengendali radikal dan meningkatkan sintesis protein baru serta mRNA. Saat menghadapi kekeringan, biasanya asam absisat yang terdapat pada tanaman akan bekerja dengan cara menutup stomata. Terjadinya penutupan pada stomata bertujuan untuk mencegah agar tanaman tidak kehilangan cairan dalam jumlah banyak pada saat proses transpirasi dengan cara penurunan tekanan osmotik. Selain itu asam absisat juga akan membentuk lapisan lilin atau lapisan epikutikula untuk mencegah hilangnya cairan pada tanaman saat kekeringan. Saat kekeringan, asam absisat juga akan menstimulasi pengambilan air melalui akar (Asra *et al.* 2020).

Kekeringan menyebabkan penurunan bobot kering akar, bobot kering tajuk, laju asimilasi bersih, jumlah bintil akar efektif, bobot kering biji per tanaman dan ukuran biji. Di bawah cekaman kekeringan akumulasi osmolit akan

mengurangi potensial air sel dan menghindari daya ion yang merugikan, hal ini menjaga aliran air ke dalam sel dan mengatur tekanan turgor sehingga meningkatkan pertumbuhan.

Cekaman kekeringan menyebabkan banyaknya asam amino, terutama prolin, terakumulasi di dalam sel tanaman untuk mengatasi kekurangan air dan melindungi sel dari kerusakan oksidatif (Abdelaal *et al.* 2020).

### **Karakteristik Morfologi dan Fisiologi Tanaman Terhadap Cekaman Kekeringan**

Cekaman kekeringan pada setiap fase pertumbuhan dapat mempengaruhi morfologis tanaman yang dapat dilihat melalui pemanjangan akar tanaman sampai dalam dan menemukan air untuk diserap, mengecilnya permukaan daun sehingga respirasi berkurang dan tanaman juga akan menggugurkan daunnya. Sehingga cekaman kekeringan dapat menurunkan tingkat produktivitas (biomassa) tanaman. Tanaman yang mengalami cekaman kekeringan akan meningkatkan kandungan prolin yang berperan terhadap toleransi dehidrasi dengan cara melindungi protein dan struktur membrane (Gupta *et al.* 2020).

Tanaman yang mengalami cekaman kekeringan akan mengalami akumulasi protein sehingga memiliki berat molekul yang rendah. Zat terlarut yang kompatibel (osmoprotektan atau osmolit) adalah senyawa alami dengan berat molekul rendah, seperti asam amino, gula, glisin betain, atau alkohol yang disintesis di dalam sitoplasma tanaman dalam kondisi optimal dan stress. Zat terlarut yang kompatibel ini memainkan peran penting dalam penyesuaian osmotik dengan menstabilkan protein dan struktur sel serta mengais spesies

oksigen reaktif. akibatnya mempertahankan pertumbuhan tanaman selama berbagai tekanan (Elkelish *et al.* 2020).

Asam absisat (ABA) adalah hormon penting dalam respon tanaman terhadap kekeringan, yang disintesis dalam akar dan kloroplas tanaman. Di bawah cekaman kekeringan, ABA tidak dapat bergerak melalui membran plasma tetapi dapat diangkut ke dalam sel penjaga stomata dan menginduksi penutupan stomata. Peningkatan konsentrasi ABA dalam sel penjaga ini dapat menyebabkan penurunan kehilangan air dalam kondisi kekeringan. Selain itu, penutupan stomata menyebabkan berkurangnya penyerapan CO<sub>2</sub>, akibatnya, penurunan laju fotosintesis. Akumulasi ABA menyebabkan penurunan akumulasi etilen, sitokinin, dan giberelin pada tanaman yang mengalami cekaman kekeringan, padahal sitokinin dapat membantu menunda penuaan (Rashwan *et al.* 2020).

Sebagian besar spesies tanaman seperti kedelai (*Glycine max*), selama pertumbuhan vegetatif dan reproduksi sangat sensitif terhadap kondisi air yang terbatas. Kedelai adalah spesies yang peka terhadap dehidrasi yang membutuhkan jumlah air yang optimal untuk perkecambahan biji, pertumbuhan bibit dan perkembangan tanaman (Patriyawaty, 2020).

Pada tanaman kedelai, stres akibat kekurangan air akan menghambat penyerapan air oleh akar. Ketidakmampuan akar tanaman dalam menyerap air untuk mengimbangi kehilangan air melalui transpirasi dapat menyebabkan tanaman layu. Pada umumnya, tanaman akan menutup stomata untuk mengurangi kehilangan air. Stomata yang tertutup dapat membantu tanaman untuk menghindari kekurangan air dengan cepat. Namun, pori-pori stomata yang tertutup juga menghambat penyerapan karbon dioksida dan oksigen dari udara

oleh jaringan internal tanaman. Kondisi ini akan sebenarnya akan menghentikan aliran air melalui tanaman sehingga dapat mengurangi penyerapan unsur hara. Semua faktor yang telah dijelaskan di atas merupakan penyebab tanaman kedelai mengurangi metabolisme untuk mempertahankan hidupnya pada saat kekurangan air (kekeringan). Pada tanaman kedelai, cekaman kekeringan selama fase vegetatif dapat mengurangi tinggi tanaman, jumlah ruas, panjang akar, berat kering akar dan tajuk (Pratiwi *et al.* 2019).

Pengaruh cekaman kekeringan pada fase pertumbuhan vegetatif hingga fase pertumbuhan generatif menurunkan tinggi tanaman saat panen dan panjang akar tanaman kedelai dibandingkan dengan perlakuan tanpa cekaman. Tanaman kedelai menggunakan fotosintat yang dihasilkan untuk mempertahankan pertumbuhan akar, menyebabkan penurunan pertumbuhan tinggi tanaman kedelai tetapi tidak mempengaruhi perkembangan akar (Du *et al.* 2020). Penurunan tinggi tanaman, umur berbunga dan umur panen untuk mengurangi laju transpirasi dan meningkatkan pertumbuhan akar untuk meningkatkan penyerapan air merupakan salah satu mekanisme yang ada pada tanaman untuk menghadapi cekaman kekeringan dan dapat digunakan sebagai indikator sifat tanaman yang toleran terhadap cekaman kekeringan (Riduan *et al.* 2022).

Toleransi cekaman kekeringan berdasarkan hasil biji pada saat panen pada beberapa kultivar menunjukkan bahwa kultivar dengan toleransi yang tinggi pada cekaman kekeringan menunjukkan laju pertumbuhan tanaman (*crop growth rate*) dan luas daun yang lebih tinggi dibandingkan dengan kultivar yang lain. Kultivar

yang dipertimbangkan toleran kekeringan memiliki hasil panen relatif lebih tinggi dibandingkan dengan kultivar yang peka kekeringan (Batool *et al.* 2020).

Tanaman yang toleran terhadap cekaman air memiliki transpirasi, fotosintesis lebih tinggi, menggunakan air lebih efisien dan mampu menghasilkan polong yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman yang peka terhadap cekaman air. Tanaman kedelai memiliki mekanisme fisiologis yang paling penting dalam beradaptasi terhadap cekaman air, yaitu dengan mempertahankan turgor melalui penurunan potensial osmotik dan akumulasi senyawa terlarut, yaitu prolin serta peningkatan kandungan ABA dan IAA (Ozturk *et al.* 2021).