

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kedelai

Kedelai hitam (*Glycine max* (L.) Merril) merupakan salah satu jenis legum yang memiliki tingkat konsumsi tinggi serta dapat menyediakan protein dan serat yang penting bagi kebutuhan gizi manusia. Kedelai termasuk dalam kelompok tanaman polong yang menjadi bahan baku utama untuk berbagai produk makanan seperti kecap, tahu, dan tempe. Dalam aspek ekonomi, tanaman ini menjadi sumber protein nabati yang terjangkau. Kedelai mengandung protein dalam jumlah yang lebih tinggi, yaitu sekitar 35-38 %, jika dibandingkan dengan jenis tanaman polong lainnya (Siregar dan Rahmadina, 2023).

Kedelai hitam adalah salah satu jenis kedelai yang sangat diperlukan dalam dunia industri, terutama untuk pembuatan kecap. Ciri khas kedelai hitam terletak pada adanya Antosianin yang terkandung dalam kulit bijinya, yang memberikan warna hitam yang unik. Antosianin adalah senyawa antioksidan yang memiliki kemampuan besar dalam mencegah oksidasi dini, sehingga dapat mempertahankan kualitas kecap dalam jangka waktu yang lebih lama. Selain itu, antosianin juga terkenal karena manfaat kesehatan yang signifikan, termasuk dalam mencegah penyakit degeneratif (Yusuf, 2020).

Tanaman kedelai adalah jenis tanaman semak yang tumbuh tegak dengan sistem akar yang terdiri dari akar utama, akar samping, dan akar serabut. Akar tanaman ini dapat menembus tanah hingga kedalaman 1,5 meter di lahan gambut. Akar sampingnya memiliki bintil-bintil yang mengandung bakteri rhizobium, yang berfungsi untuk mengikat nitrogen dari udara. Bintil akar ini mulai terbentuk sekitar

15 hingga 20 hari sebelum penanaman. Sistem perakaran pada kedelai tidak hanya berfungsi untuk menyerap nutrisi, tetapi juga berperan dalam pembentukan bintil akar atau nodul yang berfungsi sebagai pabrik alami untuk melakukan fiksasi nitrogen dari udara melalui aktivitas bakteri rhizobium (Litbang Pertanian Ngawi, 2023).

Kedelai hitam banyak dimanfaatkan sebagai bahan utama untuk membuat kecap. Kedelai hitam memiliki senyawa antioksidan yang bisa bertindak sebagai agen pencegah tumor dan mendukung kesehatan jantung. Beberapa senyawa antioksidan yang terdapat di dalamnya meliputi flavonol, isoflavon, anthosianin, tokoferol, dan asam polikarbosilik (Novrida, Kartahadimaja, dan Ferwita, 2021).

Menurut (Ghosypea, 2018) tanaman kedelai (*Glycine max* (L.) Merril) diklasifikasikan sebagai berikut:

Kingdom : Plantae
Devisi : Spermatophyta
Subdivisi : Angiospermae
Kelas : Dicotyledoneae
Ordo : Rosales
Famili : Leguminoseae
Genus : Glycine
Species : *Glycine max* (L.) Merril atau *Glycine soja* (L.)

2.2. Morfologi

2.2.1. Akar

Sistem akar tanaman kedelai memiliki karakteristik yang khas, di mana akarnya berkolaborasi dengan bakteri rhizobium untuk menghasilkan bintil akar.

Bintil akar ini memiliki peranan yang sangat penting dalam proses fiksasi nitrogen, sebab nitrogen diperlukan oleh tanaman kedelai untuk dapat tumbuh dan berkembang dengan baik. Pada kedelai, sistem akar terdiri dari dua tipe, yaitu akar utama dan akar samping. Dalam kondisi tertentu, seperti kelebihan kandungan air di tanah, kedelai akan mengembangkan akar tambahan yang muncul di bawah hipokotil. Pertumbuhan akar dapat mencapai lebih dari 2 meter jika kondisi optimal terpenuhi (Lagiman, Suryawati dan Widayanto, 2022).

2.2.2. Bintil Akar

Bintil akar dapat muncul pada tanaman kedelai yang masih muda setelah terdapat akar rambut pada akar utama atau akar samping. Pertumbuhan gimpalan akarnya disebabkan oleh bakteri rhizobium. Akar-akar tersebut menghilangkan tritofan serta zat lainnya yang mendorong pertumbuhan pesat populasi bakteri dan mikroorganisme tanah di sekitar akar. Bakteri menggunakan tritofan dan mengkonversinya menjadi IAA- indole. Pada akhir minggu keempat setelah terinfeksi oleh bakteri, bintil-bintil ini berhenti melakukan pertumbuhan. Nodul yang sudah dewasa memiliki massa berwarna merah muda, yang terdiri dari sel bakteroid bercampur dengan sel-sel yang tidak terinfeksi. Warna merah ini disebabkan oleh leghemoglobin. Bintil berwarna merah dianggap aktif dalam proses fiksasi nitrogen. Sementara itu, nodul dengan massa hijau tidak aktif dalam fiksasi nitrogen meskipun ada banyak faktor yang mempengaruhi hal ini. Umumnya, bintil yang aktif bertahan sampai minggu ke enam, dan pada minggu ketujuh, gumpalan mulai mengalami pembusukan (Lagiman, Suryawati, dan Widayanto. , 2022).

2.2.3. Batang

Batang dari tanaman kedelai muncul melalui proses perkecambahan biji kedelai yang terdiri dari bagian hipokotil. Hipokotil beserta dua kotiledon yang terhubung akan tumbuh di atas permukaan tanah. Epikotil adalah bagian dari batang pucuk yang berada di atas kotiledon. Tanaman kedelai adalah jenis tanaman semak yang tingginya bervariasi antara 30 hingga 100 cm, terlihat sedikit layu, dengan kulit batang berwarna ungu atau hijau, dan biasanya memiliki antara tiga hingga enam cabang. Tanaman kedelai dibagi menjadi dua jenis pertumbuhan batang, yaitu tipe determinate dan indeterminate (Lestari, 2021).

2.2.4. Daun

Kedelai memiliki daun yang terdiri dari beberapa bagian, yang berwarna hijau, hitam tua, dan ada pula yang berwarna hijau kekuningan. Selain itu, daun kedelai dapat dikenali melalui ciri lain, yaitu bentuk helai daunnya yang oval dan susunannya yang teratur dalam kelompok tiga, yang berfungsi dalam proses asimilasi, fotosintesis, dan respirasi (Nur'aini dan Rachmawati, 2022).

2.2.5. Bunga

Bunga kedelai memiliki penampilan yang mirip kupu-kupu dengan dua mahkota dan dua kelopak. Warna bunga kedelai bervariasi, termasuk putih, ungu, dan ungu muda, serta memiliki kemampuan untuk melakukan penyerbukan secara mandiri. Bunga kedelai digolongkan sebagai bunga sempurna atau hermafrodit, yang memiliki dua jenis kelamin, yaitu kelamin betina (putik) dan kelamin jantan (benang sari) pada setiap kuntum. Kuntum bunga terletak dalam rangkaian, tetapi tidak semuanya akan menjadi polong, karena sekitar 60% bunga akan gugur sebelum mencapai tahap polong (Nur'aini dan Rachmawati, 2022).

2.2.6. Biji

Kedelai mempunyai biji dengan dua keping yang dilindungi oleh kulit biji. Warna kulit biji kedelai beragam, termasuk kuning, hitam, hijau, dan coklat, sedangkan embrionya terletak di antara kepingan biji. Ukuran biji kedelai bervariasi sesuai dengan varietasnya, dan bentuknya bisa lonjong, bulat sedikit datar, atau bundar (Nur'aini dan Rachmawati, 2022).

2.3. Syarat Tumbuh

2.3.1. Iklim

Tanaman kedelai mampu tumbuh di lingkungan dengan suhu yang bervariasi. Suhu ideal untuk proses perkecambahan adalah 30 derajat Celsius, sedangkan jika suhu berada di bawah 15 derajat Celsius, maka proses perkecambahan dapat berjalan lambat dan membutuhkan waktu sampai dua minggu. Suhu yang baik bagi pertumbuhan kedelai berkisar antara 24 hingga 34 derajat Celsius, dengan suhu optimal antara 23 hingga 27 derajat Celsius. Kedelai dapat tumbuh di daerah yang sangat kering, kecuali saat fase berbunga. Tanaman ini banyak ditemukan di Indonesia dan biasanya tumbuh di wilayah dengan suhu udara antara 25 hingga 27 derajat Celsius. Kelembapan rata-rata yang dibutuhkan adalah 65%, dengan sinar matahari sekitar 12 jam setiap tahun atau setidaknya 10 jam per hari, dan curah hujan yang ideal antara 100 hingga 200 mm per bulan. Kedelai termasuk dalam kategori tanaman jangka pendek, yang artinya tidak akan berbunga jika periode siang hari lebih dari 16 jam, dan akan mempercepat pembungaan jika paparan sinar matahari kurang dari 12 jam (Lagiman, Suryawati, dan Widayanto. , 2022).

2.3.2. Tanah

Kedelai membutuhkan tanah yang memiliki tekstur lembab tetapi tidak

tergenang, dengan pH antara 6 hingga 6,8 agar bisa tumbuh dengan optimal. Tanah yang memiliki pH 5,5 kurang ideal untuk pertumbuhan kedelai, karena pH tersebut dapat menyebabkan keracunan Al pada pertumbuhan tanaman kedelai. Untuk mengatasi masalah ini, tanah dengan pH 5,5 perlu ditambahkan kapur. Meskipun demikian, kedelai adalah tanaman yang dapat beradaptasi dengan berbagai jenis tanah, termasuk tanah alluvial, grimosol, latosol, regusol, dan juga dapat tumbuh pada tanah andosol (Surti, 2023).

2.4. Biostimulan

Biostimulan berasal dari istilah "bio" yang merujuk pada kehidupan dan "stimulan" yang berarti penggerak atau pendorong, sehingga dapat diartikan bahwa biostimulan adalah zat yang berasal dari makhluk hidup yang dapat memicu pertumbuhan tanaman. Biostimulan adalah formulasi yang mengandung senyawa bioaktif baik dari tanaman maupun mikroorganisme yang berfungsi meningkatkan efisiensi penyerapan nutrisi oleh tanaman serta memperkuat toleransi terhadap tekanan abiotik melalui penerapan pada tanaman. Biostimulan bukan merupakan unsur hara atau pestisida, tetapi dapat memberikan dampak positif bagi pertumbuhan tanaman dan juga bersifat ramah lingkungan. Banyak orang yang belum sadar bahwa biostimulan adalah salah satu bioaktif yang memiliki berbagai fungsi untuk tanaman, karena tidak hanya menyediakan unsur hara, tetapi juga meningkatkan ketersediaan hara, berperan dalam penguraian bahan organik, pembentukan humus, serta berfungsi sebagai pengubah senyawa kimia (Saban, Kesaulya dan Nendissa, 2018).

Salah satu komponen yang sering ada dalam biostimulan adalah zat humat, yang merupakan bahan organik kompleks hasil dari dekomposisi bahan organik,

serta senyawa kimia aktif yang dapat merangsang aktivitas biologis tanaman. Di samping itu, peptida dan asam amino memegang peranan penting dalam proses metabolisme dan pertumbuhan tanaman. Garam anorganik berperan dalam menjaga keseimbangan nutrisi tanaman. Semua komponen ini saling bekerja sama untuk mendukung kesehatan tanaman dan meningkatkan hasil panen (Aisyah, 2018).

2.5. Biostimulan PGPR

Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) merupakan mikroorganisme yang bermanfaat untuk mendukung pertumbuhan tanaman dan meningkatkan hasil panen. PGPR hidup di sekitar akar tanaman, membantu dalam proses penguraian bahan organik. Mikroba ini bertindak sebagai biostimulan yang mempengaruhi berbagai proses biologis yang berkontribusi pada pertumbuhan tanaman. Selain itu, PGPR juga membantu tanaman untuk menyesuaikan diri dengan kondisi lingkungan yang ekstrem, seperti kekurangan air dan salinitas. (Soelaksini, Fitri, dan Yustika, 2024). Secara umum, PGPR dapat mempercepat pertumbuhan tanaman dengan memproduksi dan mengatur berbagai zat pengatur tumbuh (fitohormon). Di samping itu, PGPR juga berfungsi sebagai penyuplai nutrisi (biofertilizer) dengan mengikat nitrogen dari udara secara simbiosis dan melarutkan fosfor yang terikat di dalam tanah, serta berperan dalam pengendalian patogen melalui siderofor, 3-glukanase, kitinase, dan antibiotik (Arfandi, 2019).

Biostimulan PGPR mengandung beberapa jenis mikroba, seperti *Azospirillum* sp, *Rhizobium* sp, *Aspergillus niger*, *Trichoderma harzianum*, dan *Pseudomonas fluorescens*. Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) termasuk dalam kelompok mikroba yang berasosiasi dengan akar tanaman dan berperan penting dalam menciptakan pertumbuhan tanaman melalui berbagai cara.

PGPR turut berkontribusi dalam fiksasi nitrogen, di mana bakteri dari genus *Rhizobium* dan *Bradyrhizobium* bersimbiosis dengan akar kedelai membentuk bintil akar yang dapat mengubah nitrogen dari udara menjadi amonia (NH_4^+), salah satu kation esensial dalam tanah. Kation amonium ini tidak hanya tersedia bagi tanaman, tetapi juga meningkatkan muatan positif dalam tanah yang berinteraksi dengan koloid negatif, sehingga mendukung proses pertukaran kation (Dwi, Krismiratsih, dan Apriliya, n. d.). Secara keseluruhan, penerapan biostimulan PGPR memberikan efek yang menguntungkan, yaitu meningkatkan pertumbuhan dan hasil kedelai hitam secara langsung melalui sintesis fitohormon dan pelarutan nutrisi, serta secara tidak langsung memperbaiki sifat kimia tanah dengan meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK). Ini menunjukkan bahwa penggunaan PGPR sangat strategis dalam sistem pertanian berkelanjutan yang berfokus pada efisiensi nutrisi dan keberlanjutan kesuburan tanah.

2.6. Pupuk Fosfor

Pupuk fosfor merupakan salah satu jenis pupuk yang sangat dibutuhkan oleh tanaman sebagai salah satu peran membantu proses fotosintesis serta pembentukan akar yang kuat. Pada tanah masam ketersediaan P rendah hal tersebut tentu menjadi kendala utama dalam pertumbuhan tanaman terutama tanaman legume. Salah satu pembentuk ATP (adenosin tri fosfat) dan ADP (adenosin difosfat) adalah fosfor, hal ini dapat mempercepat pembungaan, pembuahan dan juga mempercepat pemasakan biji serta buah. Selain itu fosfor dapat merangsang pertumbuhan dan perkembangan akar serta berperan penting dalam pembentukan polong, mengurangi jumlah polong hampa, serta dapat mempercepat kematangan polong. Fosfor juga dapat membantu pertumbuhan jasad penambat N apabila dalam jumlah yang cukup. Hal ini dapat

berpengaruh pada nodulasi dan pertumbuhan nodul. Apabila tanaman kekurangan fosfor akan mengakibatkan terjadinya defisiensi nitrogen (Hartati, Suryaman, dan Saepudin., 2023). Menurut Iwan (2018), pupuk fosfor memberikan pengaruh yang baik pada pertumbuhan tanaman kedelai. Peningkatan tinggi tanaman dan jumlah bintil akar sangat berpengaruh pada pemberian pupuk fosfor.

Fosfor (P) adalah unsur hara makro esensial yang berperan penting dalam pembentukan dan perkembangan akar. Penelitian oleh Panataria *et al.* (2022) menunjukkan bahwa aplikasi pupuk fosfor hingga dosis tertentu dapat meningkatkan produksi tanaman kedelai, yang berkaitan dengan peningkatan jumlah dan aktivitas bintil akar.