

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Klasifikasi Tanaman Kedelai

Tanaman kedelai (*Glycine max* L.) termasuk ke dalam kelompok tanaman legum yang memiliki peran penting sebagai salah satu sumber utama protein dan minyak nabati di dunia (Falakara, 2023). Kedelai diketahui bukan berasal dari Indonesia. Catatan sejarah menunjukkan bahwa keberadaan kedelai pertama kali tertulis dalam kitab *Pen Ts'ao Kong Mu* pada masa pemerintahan Kaisar Sheng Nu sekitar tahun 2838 SM. Tanaman ini diperkirakan berasal dari wilayah Cina bagian tengah hingga utara. Pendapat tersebut didukung oleh penyebaran *Glycine ussuriensis*, yang dianggap sebagai spesies leluhur atau nenek moyang dari *Glycine max* (Nilahayati, 2015).

Merurut Falakara M. (2023) Berikut klasifikasi dari tanaman kedelai (*Glycine max* L.):

- Kingdom : Plantae
- Divisi : Spermatophyta
- Subdivisi : Angiospermae
- Kelas : Dicotyledoneae
- Subklas : Archihlamydae
- Ordo : Rosales
- Subordo : Leguminosinae
- Famili : Leguminosae
- Subfamili : Papilionaceae
- Genu : *Glycine*
- Spesies : *Glycine max* (L)

Kedelai yang dibudidayakan di Indonesia adalah tanaman semusim dengan bentuk tegak, memiliki tinggi antara 40 hingga 90 cm, serta bercabang. Tanaman ini mempunyai daun tunggal dan daun yang tersusun tiga, dengan bulu pada daun dan polong yang tidak terlalu lebat. Umur tanaman kedelai ini berkisar antara 72 hingga 90 hari. Sementara itu, kedelai introduksi biasanya

memiliki sedikit atau bahkan tidak ada cabang sama sekali, dan sebagian besar daun serta polongnya ditutupi oleh trikoma yang cukup padat (Adie M. & Krisnawati A. 2016)

2.2 Morfologi Tanaman Kedelai

2.2.1 Akar

Sistem akar kedelai memiliki ciri akar tunggang sebagai akar utama, akar primer berkembang dari akar tunggang, serta akar lateral yang tumbuh dari akar primer. Akar tunggang terbentuk dari pertumbuhan akar embrio mulai tumbuh pada proses kembang berlangsung. Apabila keadaan lingkungan mendukung, akar kedelai dapat berkembang dan menembus tanah hingga mencapai kedalaman sekitar 2 meter atau bahkan lebih. Meskipun demikian, secara umum, pertumbuhan akar utama terbatas pada lapisan tanah yang digemburkan dengan kedalaman tidak terlalu dalam, yakni sekitar 30-50 cm. (Jamilah N. 2012).

2.2.2 Batang

Batang kedelai adalah batang yang tidak berkayu berjenis perdu atau semak sehingga teksturnya lebih lunak dan fleksibel dibandingkan dengan tanaman berkayu. Tanaman ini memiliki pertumbuhan yang relatif pendek dan bercabang banyak. Permukaan batang kedelai ditutupi oleh rambut atau bulu dengan berbagai bentuk dan ukuran, yang berguna untuk melindungi tanaman dari serangan hama dan mengurangi penguapan air. Warna batang umumnya hijau, dan panjangnya dapat bervariasi mulai dari 30 hingga 100 cm. Batang kedelai juga mampu membentuk antara 3 hingga 6 cabang. Percabangan ini biasanya mulai terjadi ketika tanaman mencapai ketinggian sekitar 30 cm menandai fase pertumbuhan vegetatif yang penting untuk perkembangan tanaman sebelum memasuki fase generatif atau pembentukan bunga dan buah (Anggraini W.D 2020).

2.2.3 Daun

Menurut Mustaanah D. dkk (2024) daun kedelai (*Glycine max* (L.) Merr.) memiliki karakteristik khas berupa daun majemuk trifoliat yang setiap tangkai daun tersusun atas tiga helai daun. Variasi warna daun dipengaruhi oleh fase pertumbuhan kedelai dengan daun muda berwarna

hijau muda sampai kekuningan dan daun yang lebih tua berwarna hijau tua pada permukaan atas dan cenderung lebih pucat di bagian bawah. Bentuk daun kedelai umumnya oval hingga elips dengan ujung meruncing, serta permukaannya dilapisi oleh bulu halus (trikoma) yang berfungsi sebagai perlindungan terhadap kehilangan air dan pengaruh lingkungan. .

2.2.4 Bunga

Bunga kedelai menentukan hasil produksi kedelai yang maksimal. Pembentukan kuncup bung tidak berlangsung serentak, sehingga dalam satu tanaman dapat ditemukan kuncup dengan ukuran yang bervariasi. Tahapan perkembangan kuncup meliputi kemunculan, pembesaran, hingga mekar yang memerlukan waktu sekitar satu hingga empat hari sebelum menghasilkan polong. Mahkota bunga kedelai umumnya memiliki variasi warna dari ungu muda hingga ungu tua, yang berperan dalam pembentukan pigmen tertentu. Kuncup bunga biasanya tumbuh pada ketiak cabang maupun ujung cabang, membentuk rangkaian menyerupai malai dengan jumlah sekitar 5–7 kuncup per kelompok. Waktu munculnya bunga dipengaruhi oleh faktor genetik, jumlah cabang, serta teknik budidaya yang diterapkan. Faktor-faktor tersebut juga berhubungan dengan jumlah kuncup yang terbentuk dan potensi produksi buah pada tanaman kedelai (Sumami S. & Triyono K. 2022).

2.2.5 Polong

Menurut Sumami S. & Triyono K. (2022). Buah kedelai ditandai dengan terbentuknya polong yang muncul pada umur 48–52 hari. Pada fase awal polong berukuran kurang dari satu sentimeter dengan warna hijau muda kemudian mengalami pertumbuhan berupa pemanjangan dan pembesaran. Selama 30–35 hari berikutnya berlangsung proses pengisian biji hingga mencapai fase pematangan. Pematangan ditandai oleh perubahan warna polong mulai dari hijau cerah, hijau suram kemudian berubah menjadi cokelat muda hingga cokelat tua bersamaan dengan penurunan kadar air. Pada tahap awal polong memiliki kadar air tinggi sehingga terasa basah, namun setelah lebih dari satu bulan polong mulai mengering seiring dengan mengeringnya tanaman yang terlihat dari daun

berwarna kuning kecokelatan. Selain perubahan pada kulit polong, biji kedelai di dalamnya juga mengalami perubahan warna dan kondisi fisiologis sebagai bagian dari proses pematangan.

2.3 Syarat Tumbuh Tanaman Kedelai

2.3.1 Iklim

Pertumbuhan kedelai sangat dipengaruhi oleh keseimbangan antara suhu udara, kelembapan, dan curah hujan. Pada umumnya, kedelai tumbuh lebih baik pada kondisi suhu yang relatif hangat dengan tingkat kelembapan dan curah hujan yang tidak tinggi. Suhu yang terlalu rendah disertai kelembapan atau curah hujan yang berlebihan dapat menghambat pertumbuhan tanaman. Kondisi lingkungan yang optimal bagi kedelai adalah suhu udara sekitar 25–27°C serta penyinaran matahari penuh selama sedikitnya 10 jam setiap hari. Selain itu, untuk mendukung pertumbuhan yang maksimal, tanaman kedelai memerlukan hujan berkisar diantaranya 100–200 mm per bulan dengan kelembapan rata-rata sekitar 50% (Andika P., 2020).

2.3.2 Ketinggian Tempat

Kedelai ditanam pada daerah tropis dan subtropis dengan pertumbuhan hingga ketinggian 1000mdpl. Kemampuan adaptasi yang luas ini dipengaruhi oleh ketahanan kedelai terhadap suhu rendah maupun tinggi. Suhu udara yang paling ideal untuk pertumbuhannya berkisar antara 20–25 °C.(Taufik A. & Sundari T. 2012).

2.3.3 Media Tanam

Kedelai berkembang bisa tumbuh optimal pada tanah memiliki teksturnya gembur dan kelembapan cukup tidak mengalami genangan air pada pH tanah ideal antara 6 hingga 6,8. Kedelai masih bisa berproduksi pada pH sekitar 5,5 tetapi hasilnya tidak seoptimal. Jika pH tanah turun di bawah 5,5 pertumbuhan kedelai akan terhambat secara signifikan karena efek toksik dari aluminium. Secara umum, kedelai dapat menyesuaikan diri dengan banyaknya jenis tanah terutama yang bertekstur gembur hingga memiliki sistem drainase yang baik, tetapi tanaman ini cukup rentan

terhadap kondisi tanah yang mengandung garam tinggi (salin). (Situmorang F. 2021)

2.4 Pertumbuhan Tanaman Kedelai

Menurut Nadhifah K. dkk (2023) Pertumbuhan tanaman kedelai terjadi melalui beberapa tahap penting yaitu perkecambahan, fase vegetatif, dan fase generatif. Pada tahap perkecambahan biji kedelai mulai tumbuh dengan munculnya akar dan tunas kecil. Pada fase vegetatif tanaman mengalami pertumbuhan daun, batang, dan akar secara aktif, yang sangat bergantung pada ketersediaan nutrisi dan air di tanah, selanjutnya fase generatif melibatkan pembentukan bunga, proses penyerbukan, serta perkembangan polong dan biji kedelai. Faktor-faktor lingkungan seperti nutrisi, air, dan suhu sangat memengaruhi seberapa cepat dan berhasilnya setiap tahap pertumbuhan kedelai.

Proses perkecambahan pada kedelai diawali dengan penyerapan air oleh biji dikenal sebagai imbibisi. Penyerapan air memicu aktivasi enzim dan meningkatkan aktivitas metabolisme di dalam biji sehingga memicu benih untuk tumbuh. Selanjutnya radikula atau akar primer mulai muncul dan menembus media tanam menandai tahap awal pertumbuhan tanaman. Keberhasilan proses perkecambahan sangat dipengaruhi pada kondisi lingkungan, terutama faktor kelembapan, suhu, dan ketersediaan air yang memadai (Sari R.M dkk 2021). Adapun Faktor yang mempengaruhi perkecambahan tanaman meliputi kualitas benih yang digunakan (Taufik M. *et al* 2023).

Fase vegetatif pada tanaman kedelai adalah tahap awal pertumbuhan sebelum tanaman masuk ke fase generatif. Pada fase ini, tanaman vegetatif ditandai dengan akar, batang, dan daun. Proses ini dimulai saat biji kedelai mulai berkecambah, yaitu ketika biji menyerap air sekitar 50% dari beratnya. Setelah itu, akar primer muncul, diikuti oleh hipokotil yang mendorong kotiledon keluar dari dalam tanah. Selanjutnya, pada tahap kotiledon (VC), daun tunggal atau unifoliat tumbuh sempurna, sementara kotiledon masih berperan sebagai sumber nutrisi utama bagi tanaman muda. Kemudian, pada tahap V1(trifoliolat pertama) daun trifoliat pertama terbentuk, dan pada V2

(trifoliolat kedua) muncul dua simpul dengan daun trifoliat yang menandai dimulainya aktivitas fiksasi nitrogen oleh bintil akar. Pertumbuhan daun trifoliat terus berlanjut setiap 3–5 hari hingga mencapai tahap V5, di mana bakal bunga mulai muncul di kuncup aksiler. Pada tahap V6 dan seterusnya, jumlah simpul dan luas daun semakin bertambah, akar tumbuh lebih dalam hingga mencapai kedalaman 2–3 kaki (60–90 cm) dan tanaman mulai bersiap untuk memasuki fase generative. (Endres, 2025)

Fase generative pada tanaman kedelai merupakan tahap perkembangan di mana tanaman beralih dari pembentukan vegetatif seperti akar, batang, dan daun, menuju pembentukan organ reproduktif, yaitu bunga, polong, dan biji. Pada fase ini, energi hasil fotosintesis lebih difokuskan untuk mendukung proses pembungaan, pembentukan polong, serta pengisian biji hingga mencapai kematangan fisiologis. Fase generatif ini terbagi menjadi beberapa subfase, yaitu R1 (awal berbunga), R3 (awal pembentukan polong), R5 (awal pengisian biji), dan R7 (awal kematangan biji). (Mujahid S. *et al* 2023). Menurut Ajisaputra W. (2021) Penyerapan Kebutuhan air tanaman kedelai mencapai tingkat tertinggi pada fase generatif, yaitu sejak munculnya bunga pertama hingga proses pengisian polong selesai. Pada tanaman kedelai yang dipanen pada umur sekitar 80–90 hari, total kebutuhan air diperkirakan antara 360–405 mm, dengan setara dengan curah hujan bulanan sekitar 120–135 mm. Jumlah kebutuhan air sangat dipengaruhi oleh berbagai macam faktor antarlain kemampuan tanah dalam menahan dan menyimpan air, tingkat evaporasi atau penguapan, serta kedalaman lapisan tanah yang menjadi media pertumbuhan akar. tempat akar berkembang.

2.5 Pupuk Bionanofertilizer

Menurut Rajonee A.A dkk (2016) Nano fertilizer merupakan inovasi pertanian yang memanfaatkan nanopartikel dengan ukuran umumnya kurang dari 100 nanometer sebagai media pengangkut nutrisi bagi tanaman. Pupuk ini dirancang untuk melepaskan unsur hara secara bertahap dan terkontrol, sehingga dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan nutrisi seperti nitrogen sekaligus mengurangi kehilangan nutrisi ke lingkungan akibat pencucian atau

penguapan. Dengan ukuran partikel yang sangat kecil, nano fertilizer memiliki kemampuan penetrasi yang lebih baik ke dalam jaringan akar tanaman, sehingga meningkatkan penyerapan nutrisi dan mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal. Selain itu, penggunaan nano fertilizer berpotensi menurunkan dosis pupuk yang dibutuhkan secara keseluruhan, sehingga lebih ramah lingkungan dan ekonomis.

Mekanisme kerja nano fertilizer pada tanaman didasarkan pada ukuran partikel yang sangat kecil, umumnya kurang dari 100 nanometer, sehingga memungkinkan nutrisi untuk dengan mudah menembus dinding sel dan sistem vaskular tanaman. Dalam aplikasi partikel nano tersebut dapat menempel pada permukaan akar dan dengan cepat masuk ke dalam jaringan tanaman, berkat luas permukaan yang besar serta reaktivitas yang tinggi. (Dutta D. 2021). Nano fertilizer dirancang untuk melepaskan nutrisi secara terkendali dan bertahap sesuai dengan kebutuhan tanaman, sehingga nutrisi tersedia secara optimal selama masa pertumbuhan. Selain itu, ukuran partikel yang kecil memungkinkan nano fertilizer menembus struktur pori-pori tanaman, sehingga proses penyerapan nutrisi menjadi lebih efisien dan meningkatkan ketersediaan unsur hara seperti nitrogen, seng, dan tembaga di dalam tanaman. Dengan demikian, penggunaan nano fertilizer tidak hanya meningkatkan efisiensi pemanfaatan nutrisi, tetapi juga mengurangi kehilangan nutrisi ke lingkungan, sehingga menjadi solusi inovatif dalam mendukung pertanian yang berkelanjutan (Nawadkar A. *et al* 2024).

2.5.1 Konsentrasi Bionanofertilizer

Pupuk organik cair (POC) merupakan salah satu bentuk bionanofertilizer yang banyak digunakan untuk meningkatkan kesuburan tanah dan produktivitas tanaman. Konsentrasi pemberian POC sangat menentukan efektivitasnya dalam merangsang pertumbuhan tanaman. Menurut Mu'min (2021) pemberian POC dengan konsentrasi 6 ml/L berpengaruh sangat positif terhadap pertumbuhan kedelai. Parameter yang diamati dalam penelitian tersebut meliputi tinggi tanaman, jumlah cabang, umur berbunga, umur panen, jumlah polong per tanaman, jumlah biji per tanaman, dan berat 100 biji kering. Hasil penelitian menunjukkan bahwa

konsentrasi 6 ml/L memberikan hasil terbaik dibandingkan konsentrasi lain yang lebih rendah atau lebih tinggi. Peningkatan tinggi tanaman dan jumlah cabang menunjukkan bahwa konsentrasi 6 ml/L mampu merangsang pembentukan jaringan vegetatif secara optimal. Hal ini diduga karena POC mengandung nutrisi makro dan mikro yang mudah diserap oleh tanaman, sehingga proses fotosintesis dan pembentukan sel berjalan lebih efisien. Selain itu, nutrisi yang terkandung dalam POC dapat merangsang aktivitas mikroorganisme tanah yang membantu mineralisasi unsur hara, sehingga tanaman memperoleh nutrisi lebih optimal. Hasil ini menegaskan bahwa pemberian pupuk pada konsentrasi yang tepat merupakan faktor penting dalam menunjang pertumbuhan kedelai.

Parameter berat kering tajuk tanaman merupakan indikator penting biomassa vegetatif. Menurut penelitian (Sulastris dan Nazara 2024), pemberian POC 6 ml/L secara signifikan meningkatkan berat kering tajuk tanaman kedelai. Peningkatan ini menunjukkan bahwa tanaman mampu menumpuk lebih banyak biomassa daun dan batang, yang menunjukkan kemampuan fotosintesis yang baik dan pertumbuhan vegetatif optimal. Peningkatan berat kering tajuk juga memiliki implikasi langsung terhadap produksi polong dan biji. Tanaman yang memiliki tajuk lebih tebal dan sehat akan memiliki cadangan energi yang cukup untuk membentuk bunga dan polong secara maksimal.

Hasil penelitian oleh (Muhamad Yusuf 2024) menunjukkan bahwa pemberian POC 6 ml/L berpengaruh signifikan terhadap peningkatan jumlah polong per tanaman dan bobot biji. Hal ini menandakan bahwa pupuk tidak hanya merangsang pertumbuhan vegetatif, tetapi juga mendukung pertumbuhan generatif, yaitu pembentukan bunga, polong, dan biji. Peningkatan jumlah polong per tanaman menunjukkan bahwa konsentrasi POC 6 ml/L mampu mendukung pembungaan dan pembuahan yang optimal. Sementara peningkatan bobot biji menunjukkan bahwa nutrisi yang tersedia mencukupi bagi perkembangan biji, termasuk pembentukan cadangan protein, karbohidrat, dan lemak yang menjadi faktor penting kualitas biji kedelai.

2.5.2 Frekuensi Aplikasi Pupuk

Pemberian pupuk nano secara berkala pada tanaman kedelai memiliki beberapa tujuan penting yang berhubungan langsung dengan pertumbuhan, perkembangan, dan hasil tanaman.

1. Meningkatkan Efisiensi Pupuk

Pupuk nano memiliki sifat pelepasan nutrisi yang terkontrol sehingga nutrisi tersedia secara bertahap. Menurut Latif *et al* (2017) efisiensi pemupukan dapat ditingkatkan karena pupuk hayati atau bionano mengandung mikroorganisme aktif yang membantu menambat nitrogen, melarutkan fosfat, serta memperbaiki struktur tanah sehingga unsur hara tersedia lebih lama di sekitar akar. Dengan pemberian secara berkala, tanaman kedelai dapat menyerap unsur hara secara optimal pada setiap fase pertumbuhan.

2. Meningkatkan Ketersediaan Unsur Hara

Pupuk nano memiliki ukuran partikel yang sangat kecil sehingga memudahkan diserap pada akar tanaman. Dengan frekuensi aplikasi yang tepat, efisiensi penggunaan pupuk meningkat karena nutrisi terserap optimal dan tidak menumpuk atau hilang di tanah. Hal ini sangat penting untuk menjaga biaya produksi tetap rendah dan mencegah pemborosan pupuk (Mulatsih S. dkk 2000)

3. Mengatasi Stress Akibat Cekaman Kekeringan

Silika (Si) berperan penting dalam membantu tanaman menghadapi stres lingkungan seperti kekeringan, karena mampu *meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stres abiotik* dengan memperkuat dinding sel, mengurangi laju transpirasi, dan mempertahankan kadar air relatif daun. Dalam penelitian tersebut, pemberian *POC-Si dengan konsentrasi 20 ml/L + 1 gram silika* menunjukkan hasil yang paling optimal terhadap pertumbuhan tanaman. Perlakuan tersebut mampu meningkatkan tinggi tanaman, jumlah daun, panjang akar, serta biomassa basah lebih baik dibandingkan perlakuan lainnya. kedelai pada kondisi cekaman air. Penambahan silika juga membantu meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara

(NPK) serta memperbaiki aktivitas fotosintesis, agar tanaman tetap dapat tumbuh optimal meskipun dalam kondisi kekurangan air. Mendukung pertumbuhan dan hasil tanaman secara maksimal (Nisa F.K dkk 2022)

Beberapa penelitian terbaru menunjukkan bahwa frekuensi aplikasi pupuk nano memiliki pengaruh signifikan terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman kedelai, khususnya pada konsentrasi optimal 6 ml/L.

Penelitian (Afrina and Frisella 2018) menunjukkan bahwa interval waktu aplikasi pupuk hayati berpengaruh nyata pada parameter pertumbuhan dan hasil kedelai, seperti jumlah cabang produktif, jumlah polong per tanaman, dan jumlah polong bernas. Interval aplikasi yang lebih sering (misalnya, setiap minggu) menghasilkan yang lebih optimal dibandingkan aplikasi yang jarang (setiap 2–3 minggu). Namun, penelitian ini juga menunjuk bahwa interaksi antara konsentrasi pupuk dan frekuensi aplikasi tidak signifikan terhadap semua variabel, sehingga konsentrasi 6 ml/L tetap menjadi acuan yang efektif.

Penelitian (Muhamad Yusuf, 2024) menegaskan pemberian POC dengan konsentrasi 6 ml/L secara berkala dapat memberi peningkatan pada jumlah polong per tanaman dan bobot biji secara signifikan. Peningkatan ini menunjukkan bahwa frekuensi aplikasi yang tepat dapat memastikan nutrisi tersedia saat tanaman membutuhkan energi untuk pembentukan polong dan biji. Pupuk yang diberikan terlalu jarang akan membuat fase generatif kekurangan nutrisi, sedangkan terlalu sering tidak selalu menambah hasil, karena tanaman hanya menyerap sesuai kebutuhan

Frekuensi aplikasi pupuk nano bekerja melalui beberapa mekanisme fisiologis:

- a. Nutrisi yang tersedia secara bertahap membantu pembentukan jaringan baru secara berkesinambungan.
- b. Pupuk nano meningkatkan aktivitas enzim dan metabolisme tanaman sehingga proses fotosintesis dan transpor nutrisi lebih efisien.
- c. Interval pemberian yang tepat memastikan fase vegetatif dan generatif mendapatkan nutrisi sesuai kebutuhan.
- d. Tanaman dapat menyimpan cadangan biomassa yang cukup untuk mendukung pembungaan dan pembentukan biji

2.6 Hasil penelitian Terdahulu

Menurut Firmansyah dan Islami (2023) aplikasi pupuk (POC) dengan konsentrasi 8 ml/L yang diaplikasikan dua kali dengan hasil yang tidak berbeda dengan aplikasi sebanyak tiga kali terhadap beberapa parameter hasil, meliputi jumlah buku subur, jumlah polong per tanaman, jumlah polong isi, jumlah polong hampa, bobot biji per tanaman, dan bobot biji per hektar. Selain itu, pemberian POC dengan konsentrasi 8 ml/L yang diberikan dua kali mampu meningkatkan bobot biji per hektar sebesar 169,30% dibandingkan dengan tanaman yang tidak memperoleh aplikasi POC.

Menurut Kiik dkk. (2023) melaporkan adanya interaksi pada perlakuan mikroorganisme lokal (MOL) bonggol pisang dengan frekuensi penyiraman dua dan tiga minggu sekali terhadap parameter diameter batang pada umur 14 HST serta bobot segar brangkasan. Perlakuan MOL bonggol pisang dengan dosis 1:5 L ha⁻¹ terbukti sebagai perlakuan terbaik dalam meningkatkan tumbuhan dan hasil kedelai. keberhasilan tersebut ditunjukkan oleh nilai tertinggi pada berbagai parameter, yaitu tinggi tanaman, diameter batang, jumlah daun, berat kering brangkasan, jumlah biji per tanaman, jumlah biji per polong, berat kering biji per tanaman, berat kering biji per petak, bobot 100 biji, dan indeks panen. Selain itu, intens penyiraman setiap tiga minggu sekali juga memberikan hasil terbaik untuk meningkatkan pertumbuhan serta produktivitas kedelai.