

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA, KERANGKA PEMIKIRAN DAN HIPOTESIS

2.1 Tinjauan pustaka

2.1.1 Klasifikasi dan morfologi kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill)

Tanaman kedelai yang tersebar luas di Indonesia bukan merupakan tanaman asli Indonesia, melainkan tanaman yang berasal dari daerah Manshukuo bagian selatan Cina. Tanaman kedelai telah dibudidayakan lebih dari 3.500 tahun yang lalu dan telah menjadi salah satu makanan pokok di Cina (Marwoto, 2018). Berdasarkan klasifikasi tanaman kedelai dalam taksonomi diklasifikasikan sebagai berikut :

Kingdom	: Plantae (Tumbuhan)
Sub Kingdom	: Tracheobionta (Tumbuhan berpembuluh)
Devisi	: Magnoliophyta (Tumbuhan berbunga)
Super Devisi	: Spermatophyta (Menghasilkan biji)
Kelas	: Magnoliopsida (Berkeping dua/dikotil)
Sub kelas	: Rosidae
Ordo	: Fabales
Family	: Fabaceae
Genus	: Glycine
Spesies	: <i>Glycine max</i> (L.) Merrill

Kedelai yang biasa ditanam di Indonesia memiliki karakteristik batang tegak dengan tinggi 40 sampai dengan 90 cm, memiliki cabang, dengan daun tunggal dan daun bertiga dan umur tanaman antara 72 sampai dengan 90 hari. Berikut ini varietas-varietas unggul: Pangrango, Kawi, Leuser, Sinabung, Bromo, Argomulyo, Anjasromo, Maheru, Gunitir, Argopuro, Grobogan, Meratus, Metani dan varietas lainnya. Pada tanaman kedelai terdapat organ akar, batang, daun, bunga, polong dan biji (Ardisarwanto, 2014).

Morfologi kedelai didukung oleh organ utamanya yang terdiri dari organ vegetatif dan generatif. Organ vegetatif meliputi akar, batang dan daun yang berfungsi sebagai alat pengambilan, pengangkutan, pengolahan, pengedaran dan

penyimpanan makanan. Organ generatif meliputi bunga, buah dan biji yang berfungsi sebagai alat perkembangbiakan.

a. Akar

Tanaman kedelai memiliki akar yang muncul dari belahan kulit biji di sekitar mikrofil. Calon akar kemudian tumbuh dengan cepat ke dalam tanah, sedangkan kotiledon yang terdiri dari dua keping akan terangkat ke permukaan tanah akibat pertumbuhan yang cepat dari hipokotil yang bewarna ungu. Sistem perakaran kedelai terdiri dari dua macam, yaitu akar tunggang dan akar sekunder. Selain itu kedelai juga sering kali membentuk akar adventif yang tumbuh dari bagian bawah hipokotil tanaman kedelai memiliki bintil akar yang dapat mengikat nitrogen di atmosfer melalui aktivitas bakteri pengikat nitrogen yaitu *Rhizobium japonicum*. Nodul atau bintil akar tanaman kedelai umumnya dapat mengikat nitrogen dari udara pada umur 10 – 12 hari setelah tanam (Adisarwanto, 2014).

b. Batang

Batang tanaman kedelai tidak berkayu, berbatang jenis perdu (semak), berambut atau berbulu dengan struktur bulu yang beragam, berbentuk bulat, berwarna hijau, dan panjangnya bervariasi antara 30-100 cm. Batang tanaman kedelai dapat membentuk cabang 3-6 batang. Percabangan mulai terbentuk atau tumbuh ketika tinggi tanaman sudah mencapai 20 cm. banyaknya jumlah cabang setiap tanaman bergantung pada varietas dan kepadatan populasi tanaman. Jika kepadatan tanaman rapat (jarak tanam rapat), maka cabang yang tumbuh berkurang atau tidak tumbuh cabang sama sekali. Cabang tanaman dapat berfungsi menggantikan batang utama yang rusak untuk melanjutkan pertumbuhan dan meningkatkan hasil. Cabang pertama tumbuh dari ketiak node pertama dan setiap cabang tumbuh daun, node, tunas, bunga, dan polong seperti halnya pada batang utama (Cahyono, 2019).

c. Daun

Daun kedelai terbagi menjadi empat tipe, yaitu : (1) kotiledon atau daun biji, (2) daun helai daun primer sederhana, (3) daun bertiga dan (4) profilia. Daun primer berbentuk oval dengan tangkai daun sepanjang 1-2 cm, terletak

berseberangan pada buku pertama diatas kotiledon. Setiap daun memiliki sepasang stipula yang terletak pada dasar pada dasar daun yang menempel pada batang. Tipe daun yang lain terbentuk pada batang utama, dan pada cabang lateral terdapat daun trifoliat yang secara bergantian dalam susunan yang berbeda. Anak daun bertiga mempunyai bentuk yang bermacam-macam, mulai bulat hingga lancip. Bentuk daun kedelai adalah lancip, bulat dan lonjong serta terdapat perpaduan bentuk daun misalnya antara lonjong dan lancip. Sebagian besar bentuk daun kedelai yang ada di indonesia adalah berbentuk lonjong dan hanya satu varietas (Argopuro) berdaun lancip (Adie dan Krisnawati, 2016).

d. Bunga

Kedelai merupakan tanaman menyerbuk sendiri yang bersifat kleistogami. Periode perkembangan vegetatif bervariasi tergantung pada varietas dan keadaan lingkungan, termasuk panjang hari dan suhu. Tanaman memasuki fase reproduktif saat tunas aksiler berkembang menjadi kelompok bunga dengan 2 hingga 35 kuntum bunga setiap kelompok. Ada dua tipe pertumbuhan batang dan permulaan pembungaan pada kedelai. Tipe pertama adalah indeterminat, yaitu tunas terminal melanjutkan fase vegetatif selama pertumbuhan. Tipe kedua adalah determinat dimana pertumbuhan vegetatif tunas terminal terhenti ketika terjadi pembungaan. Buku pada bunga pertama berhubungan dengan tahap perkembangan tanaman. 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. Periode berbunga dipengaruhi oleh waktu tanam, berlangsung 3- 5 minggu (Adie dan Krisnawati, 2016).

e. Polong

Jumlah polong bervariasi mulai 2-20 dalam satu pembungaan dan lebih dari 400 dalam satu tanaman. Satu polong berisi 1-5 biji, namun pada umumnya berisi 2-3 biji per polong. Polong berlekuk lurus atau ramping dengan panjang kurang dari 2-7 cm. Polong masak berwarna kuning muda sampai kuning kelabu, coklat, atau hitam (Adie dan Krisnawati, 2016).

f. Biji

Biji kedelai berkeping dua yang terbungkus oleh kulit biji. Embrio terletak di antara keping biji. Warna kulit biji bermacam macam, ada yang kuning, hitam, hijau dan coklat. Bentuk biji kedelai pada umumnya bulat lonjong, ada yang bulat Biji kedelai berkeping dua yang terbungkus oleh kulit biji. Embrio terletak di antara keping biji. Warna kulit biji bermacam macam, ada yang kuning, hitam, hijau dan coklat. Bentuk biji kedelai pada umumnya bulat lonjong, ada yang bulat atau bulat agak pipih. Ukuran biji berkisar antara 6 sampai 30 g/100 biji. Ukuran biji diklasifikasikan menjadi 3 kelas biji yaitu biji kecil dengan ukuran (6 sampai 10 g/100 biji), biji sedang dengan ukuran (11 sampai 12 g/100 biji) dan biji besar dengan ukuran lebih besar dari (13 g/100 biji). Warna, bentuk dan ukuran yang dimiliki oleh kedelai beragam, tergantung pada varietasnya (Cahyono, 2019).

2.1.2 Syarat tumbuh

Kedelai tidak mampu berbunga apabila panjang hari (lama penyinaran) melebihi 16 jam, dan pada saat tanaman kedelai mendapat lama penyinaran kurang dari 12 jam maka proses pembungaan akan berjalan cepat. Karena hal tersebut maka tanaman kedelai tergolong kedalam tanaman hari pendek. Tanaman hari pendek pada kedelai bermakna bahwa hari (panjang penyinaran) yang semakin pendek akan merangsang pembungaan lebih cepat. Varietas kedelai dari wilayah subtropika yang sesuai untuk panjang hari 14 sampai dengan 16 jam, apabila ditanam di Indonesia yang panjang harinya 12 jam, akan mempercepat pembungaan, pada umur 20 sampai 22 hari walaupun batang tanaman masih pendek, tanaman sudah berbunga. Sedangkan di wilayah subtropika tanaman kedelai berbunga pada umur tanaman 50 hari, pada saat batang kedelai sudah tumbuh 60 sampai 70 cm (Sumarno dan Manshuri, 2013).

Kedelai merupakan tanaman yang memerlukan penyinaran matahari secara penuh dan tidak memerlukan naungan. Adanya naungan yang menahan sinar matahari hingga 20% pada umumnya masih dapat ditoleransi oleh tanaman kedelai, tetapi bila melebihi 20% tanaman akan mengalami etiolasi (Sumarno dan Manshuri, 2013). Menurut Taufiq dan Sundari (2012), berkurangnya intensitas

cahaya matahari pada kedelai menyebabkan tanaman tumbuh lebih tinggi, ruas antar buku lebih panjang, jumlah daun dan jumlah polong lebih sedikit.

Menurut Sumarno dan Manshuri (2013), suhu yang sesuai bagi pertumbuhan tanaman kedelai berkisar antara 22 sampai dengan 27°C. Suhu di dalam tanah dan suhu atmosfer berpengaruh terhadap pertumbuhan *Rhizobium*, akar kedelai. Menurut Raper dan Kramer (1987) dalam Sumarno dan Manshuri (2013) kisaran suhu harian yang sesuai untuk pertumbuhan kedelai disajikan pada tabel 1 sebagai berikut :

Tabel 1. Kisaran suhu harian yang sesuai untuk pertumbuhan kedelai.

Stadia pertumbuhan	kisaran persyaratan suhu (°C)		
	Minimum	Sesuai	Optimum
Perkecambahan biji	8-10	12-14	20-23
Kecambah muncul	8-11	15-18	20-23
Pertumbuhan Vegetatif	13-15	18-20	23-26
Inisiasi bunga	16-17	18-19	21-25
Berbunga	17-18	19-20	22-25
Pembentukan biji	13-14	18-19	21-23
Pematangan biji	8-9	14-18	19-24
Perkembangan <i>Rhizobium</i>	16-17	20-21	24-25

Sumber : Raper Kramer (1987) dalam Sumarno dan Manshuri (2013).

Pada kedelai, kelembaban udara berpengaruh terhadap proses pematangan biji dan kualitas benih. Proses pengeringan polong akan terganggu apabila curah hujan tinggi dan dapat menurunkan kualitas biji dan mutu benih, karena polong dan biji menyerap kelembaban dari luar. Kelembaban udara yang optimal bagi kedelai berkisar antara RH 75% sampai dengan 90% selama periode tanaman tumbuh hingga stadia pengisian polong dan kelembaban udara rendah (RH 60 sampai dengan 70%) pada waktu pematangan polong (Sumarno dan Manshuri, 2013).

Menurut Sumarno dan Manshuri (2013), tanah yang ideal untuk pertumbuhan kedelai yaitu memiliki lapisan olah tanah yang cukup sekitar 15 cm

sampai dengan 30 cm. Tanah memiliki tekstur liat atau debu dan liat disertai pasir. Struktur tanah agak gembur, dan memiliki drainase sedang hingga baik. Butiran tanah pada permukaan halus, tidak berkerikil atau berbatu. Terdapat sumber pengairan, atau memperoleh jumlah hujan yang cukup sekitar 100-200 mm/bulan, pada dua bulan pertama sejak tanam. Lahan terletak pada dataran rendah hingga tinggi-sedang (1-1000 mdpl). Tanaman tidak ternaungi dan mendapatkan sinar matahari penuh.

Kedelai memerlukan kelembaban tanah 78% sampai dengan 85% kapasitas lapang. Adapun untuk perkecambahan benih sampai tanaman berumur 1 sampai dengan 12 hari setelah tanam diperlukan kelembaban tanah yang tinggi berkisar antara 80% sampai dengan 100% kapasitas lapang. Kelembaban tanah melebihi kapasitas lapang menyebabkan kondisi anaerob, sehingga perakaran membusuk, penyerapan hara terganggu, daun tanaman menguning dan bila keadaan jenuh air berkepanjangan terus menerus mengakibatkan kedelai mati (Sumarno dan Manshuri, 2013).

Kedelai tumbuh baik pada tanah yang sedikit masam sampai mendekati netral, pada pH 5,5 sampai 7,0 dan pH optimal 6,0 sampai 6,5. Pada kisaran PH tersebut hara makro dan mikro tersedia bagi tanaman kedelai. Pada tanah bereaksi basa ($pH > 7,0$) tanaman kedelai menunjukkan gejala khlorosis (daun berwarna kuning dan ujung daun berwarna coklat) karena unsur besi (Fe) tidak tersedia bagi tanaman (Sumarno dan Manshuri, 2013).

2.1.3 Fase-fase pertumbuhan kedelai

Pertumbuhan kedelai terbagi atas dua fase yaitu fase pertumbuhan vegetatif dan generatif. Fase pertumbuhan vegetatif terdiri atas tiga fase yaitu fase perkecambahan, perkembangan kotiledon, dan munculnya daun. fase vegetatif dihitung semenjak tanaman muncul dari dalam tanah hingga awal pembungaan. Fase pertumbuhan generatif terdiri dari empat fase yaitu fase mulai berbunga, fase mulai berpolong, fase mulai berbiji dan fase matang penuh (Maimunah dkk., 2018).

Tabel 2. Karakteristik fase pertumbuhan vegetatif tanaman kedelai

Sandi Fase	Fase Pertumbuhan	Keterangan
Ve	Kecambah	Tanaman baru muncul di atas tanah
Vc	Kotiledon	Daun keping kotiledon terbuka dan dua daun tunggal di atasnya juga mulai terbuka
V1	Buku kesatu	Daun tunggal pada buku pertama telah berkembang penuh dan daun pada buku di atasnya telah terbuka
v2	Buku kedua	Daun bertangkai tiga pada buku ke-2 telah berkembang penuh dan daun pada buku di atasnya telah terbuka
v3	Buku ketiga	Daun bertangkai tiga pada buku ke-3 telah berkembang penuh dan daun pada buku ke-4 telah terbuka
v4	Buku keempat	Daun bertangkai tiga pada buku ke-4 telah berkembang penuh dan daun pada buku ke-5 telah terbuka
Vn	Buku ke-n	Daun bertangkai tiga pada buku ke-n telah berkembang penuh

Sumber : Adie dan Krisnawati (2016).

Menurut Adie dan Krisnawati (2016) bahwa kedelai merupakan tanaman yang menyerbuk sendiri atau kleistogami. Rukmana dan Yudirachman (2014) menjelaskan bahwa pertumbuhan tanaman kacang kedelai terdiri dari dua stadium yaitu stadium vegetatif dan reproduktif. Stadium vegetatif terjadi pada fase perkecambahan sampai berbunga dan stadium reproduktif terjadi pada fase pembentukan bunga sampai pematangan biji. Bentuk bunga tanaman kacang kedelai menyerupai kupu-kupu dengan tangkai bunga tumbuh dari ketiak tangkai daun. Jumlah bunga pada setiap ketiak daun sangat beragam antara 2 sampai 25 kuntum bunga tergantung pada kondisi lingkungan dan varietas tanaman. Bunga pertama terbentuk pada umumnya di buku ke-5, ke-6 atau buku yang lebih tinggi. Pembentukan bunga dipengaruhi oleh suhu dan kelembaban lingkungan. Pada

suhu tinggi dan kelembaban rendah jumlah sinar matahari yang jatuh pada ketiak tangkai daun lebih banyak sehingga akan merangsang pembentukan bunga. Jumlah bunga pada batang determinit lebih sedikit dibandingkan dengan batang indeterminit. Tanaman kacang kedelai berbunga pada umur 30 sampai 50 hari setelah tanam, tergantung dari varietas. Bunga kacang kedelai mempunyai alat kelamin jantan dan alat kelamin betina sehingga termasuk sempurna (hermaprodite) dengan warna bunga putih atau ungu.

Table 3. Karakteristik fase pertumbuhan reproduktif pada tanaman kedelai.

Sandi Fase	Fase Pertumbuhan	Keterangan
R1	Mulai berbunga	Terdapat satu bunga mekar pada batang utama
R2	Berbunga penuh	Pada daun atau lebih buku batang utama terdapat bunga mekar
R3	Mulai pembentukan polong	Terdapat satu atau lebih polong sepanjang 5 mm pada batang utama
R4	Polong berkembang penuh	Polong pada batang utama mencapai panjang 2 cm atau lebih
R5	polong mulai berisi	Polong pada batang utama berisi biji dengan ukuran 2 mm x 1 mm
R6	Biji penuh	Polong pada batang utama berisi biji berwarna hijau atau biru yang telah memenuhi rongga polong (besar biji mencapai maksimum)
R7	Polong mulai kuning, coklat, matang	Satu polong pada batang utama menunjukkan warna matang (berwarna abu-abu atau kehitaman)
R8	Polong matang penuh	95% telah matang (kuning kecoklatan atau kehitaman)

Sumber : Adie dan Krisnawati (2016).

2.1.4 Viabilitas dan vigor benih

Viabilitas benih adalah daya hidup benih yang dapat ditunjukkan melalui gejala metabolisme dan atau gejala pertumbuhan, selain itu daya kecambah juga merupakan tolak ukur parameter viabilitas potensial benih. Istilah lain untuk viabilitas benih adalah daya kecambah benih, persentase kecambah benih atau daya tumbuh benih. Viabilitas potensial ditentukan oleh daya berkecambah yang mencerminkan kemampuan benih untuk tumbuh dan berkembang menjadi tanaman normal pada kondisi optimum. Vigor benih adalah kemampuan benih untuk tumbuh normal dalam keadaan lapang suboptimum. Benih dengan vigoritas tinggi akan mampu memproduksi normal pada kondisi sub optimum dan di atas kondisi normal, memiliki kemampuan tumbuh serempak dan cepat. Kecepatan tumbuh mengindikasikan vigor kekuatan tumbuh benih karena benih yang cepat tumbuh lebih mampu menghadapi kondisi lapang yang suboptimal (Leisolo dkk. 2013). Analisis viabilitas benih dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh informasi mutu fisiologis benih. Gejala yang dimaksud adalah potensi tumbuh dan daya kecambah.

International Seed Testing Association (2010) mendefinisikan bahwa vigor sebagai sekumpulan sifat yang dimiliki benih yang menentukan tingkat potensi aktivitas dan kinerja benih atau lot benih selama perkecambahan dan munculnya kecambah. Istilah vigor ini mencakup pertumbuhan yang melibatkan peningkatan ukuran sel, jumlah sel dan tingkat diferensiasi yang tepat untuk pengembangan berbagai bagian bibit, dan semua aspek yang membutuhkan energi. Metode yang bisa dilakukan untuk meningkatkan performansi benih yaitu dengan perlakuan invigorasi. Invigorasi merupakan suatu perlakuan fisik atau kimia untuk meningkatkan atau memperbaiki vigor benih. Invigorasi benih pada dasarnya merupakan proses untuk mengontrol hidrasi (kondisi kelembaban).

Menurut Khan (1992) dalam Nurmauli dan Nurmiaty (2010), invigorasi adalah perlakuan benih sebelum tanam dengan cara menyeimbangkan potensial air benih untuk merangsang kegiatan metabolisme di dalam benih sehingga benih siap berkecambah tetapi struktur penting embrio yaitu radikula belum muncul. Selama proses invigorasi, terjadi peningkatan kecepatan dan keserempakan

perkecambahan serta mengurangi tekanan lingkungan yang kurang menguntungkan (Satriyas, 2006). Invigorasi dimulai pada saat benih menyerap air sampai potensial air dalam benih dan media pengimbibisi sama (dicapai keseimbangan potensial). Invigorasi benih dapat meningkatkan aktivitas enzim amylase dan dehidrogenase serta memperbaiki integritas membran sel (Satriyas, 2006).

2.1.5 Cekaman kekeringan

Air merupakan kebutuhan yang paling diperlukan bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman pertanian (Javed dkk., 2016). Istilah kekeringan umumnya berarti pasokan air irigasi lebih rendah dari kebutuhan (Ali dkk., 2016). Stres osmotik telah menduduki peringkat sebagai faktor stres lingkungan yang paling berbahaya di seluruh dunia (Marchin dkk., 2020). Perubahan kondisi iklim telah memicu stres kekeringan di beberapa belahan dunia (Naumann dkk., 2018). Meningkatnya wilayah rawan kekeringan berdampak buruk pada produktivitas tanaman pertanian. Pada tahun 2050, kekurangan air diperkirakan akan menyebabkan masalah serius pada pertumbuhan tanaman di lahan subur dan berdampak pada dua pertiga populasi dunia (Nauman dkk., 2018).

Cekaman air berpengaruh langsung terhadap pertumbuhan vegetatif tanaman. Pertumbuhan sel tanaman dipengaruhi oleh tegangan turgor. Hilangnya turgiditas sel dapat menghentikan pertumbuhan sel, sehingga pertumbuhan tanaman akan terhambat. Penurunan turgiditas sel penjaga mengakibatkan terhambatnya laju fotosintesis dan akhirnya stomata mengalami penutupan. Proses penutupan stomata akan menghambat penyerapan CO₂ yang diperlukan dalam sintesis karbohidrat. Menurut Rosawanti (2016), pada saat terjadi cekaman kekeringan, tanaman lebih banyak mengembangkan sistem perakaran. Sel-sel akar mengalami perubahan antara lain dengan meningkatkan atau mengurangi jumlah maupun ukuran dalam menghadapi kekeringan. Respon fisiologi dan morfologi kedelai yang tahan terhadap cekaman kekeringan adalah dengan adanya peningkatan bobot kering akar dan panjang akar, peningkatan kandungan prolin dan penurunan potensial osmotik daun.

Menurut Suryaman dkk. (2020), bahwa kondisi 75% dari kapasitas lapang termasuk cekaman kekeringan ringan dan kondisi 50% dari kapasitas kapasitas lapang termasuk kedalam cekaman kekeringan sedang. Sejalan dengan Subantoro (2014), menyatakan bahwa kondisi 75% dari kapasitas lapang tidak berbeda nyata dengan kondisi 100% atau kapasitas lapang karena kondisi 75% dari kapasitas lapang termasuk cekaman ringan dan masih dapat ditoleransi oleh tanaman, sedangkan pemberian air 50% dari kapasitas lapang dan 25% dari kapasitas lapang mempengaruhi nilai indeks vigor dibandingkan dengan pemberian air 100% atau pada kondisi kapasitas lapang. Cekaman tersebut mempengaruhi parameter jumlah daun, tinggi tanaman, luas daun, bobot basah maupun kering bibit, diameter batang serta panjang akar. Cekaman kekeringan dapat memicu terjadinya cekaman oksidatif yakni suatu keadaan lingkungan yang mengalami peningkatan *Reactive Oxygen Spesies* (ROS) akibat adanya suatu over reduksi dari proses fotosintesis. Hal ini terjadi dikarenakan senyawa reduktan yang tidak termanfaatkan akibat CO₂ yang terhambat selama terjadinya proses cekaman kekeringan (Wedhasari, 2014).

2.1.6 PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*)

Tanah dipenuhi oleh organisme mikroskopis seperti mikroba yang terdiri atas bakteri, yeast, dan fungi. Lebih dari 95% komposisi organisme di tanah berasal dari kelompok bakteri tanah yang berada di perakaran tanaman dan berperan dalam membantu tanaman untuk memperoleh nutrisi (Ji dkk, 2014). PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*) adalah mikroorganisme yang ditemukan di rhizosfer yang aktivitas metabolismenya didorong oleh adanya eksudat akar (Xiong dkk, 2020). Besarnya keanekaragaman PGPR di rizosfer bergantung pada kondisi fisiologis tanah dan ketersediaan unsur hara. PGPR ini memberikan berbagai manfaat yang mendorong pertumbuhan tanaman dengan mengkolonisasi akar. Kemotaksis, motilitas, adanya protein membran seperti lipopolisakarida dan eksopolisakarida, adanya pelengkap seperti pili dan fimbriae serta kemampuan memanfaatkan eksudat akar merupakan beberapa karakteristik yang memungkinkan terjadinya kolonisasi akar (Pathania dkk., 2020). PGPR

tumbuh subur secara simbiotik atau non-simbiosis di rhizosfer. Beberapa di antaranya dapat memasuki akar dan mengembangkan asosiasi endofit pada batang, daun, dan bagian tanaman lainnya (Kabiraj dkk.,2020).

Fungsi PGPR yang paling menonjol meliputi fiksasi nitrogen, pelarutan fosfat, aklimasi unsur hara mikro, pelepasan fitohormon, pemeliharaan komposisi tanah, bioremediasi tanah yang tercemar, menginduksi resistensi sistemik terhadap hama, serangga dan patogen jamur, serta mitigasi tekanan abiotik seperti salinitas dan kekeringan (Pathania dkk, 2020). Kehadiran enzim nitrogenase memungkinkan PGPR untuk mengikat nitrogen di atmosfer dan membuatnya tersedia bagi tanaman dalam bentuk amonia dan nitrat (Hakim dkk.,2021). Demikian pula, PGPR melakukan pelarutan fosfat melalui produksi asam organik yang membentuk kompleks dengan fosfat sehingga meningkatkan ketersediaannya bagi tanaman (Pathania dkk, 2020).

Ketersediaan hormon pertumbuhan tanaman seperti auksin dan giberelin, pengendalian patogen melalui produksi antibiotik, hidrogen sianida dan enzim litik, serta bioremediasi tanah melalui produksi berbagai enzim degradatif juga merupakan daya tarik utama PGPR (Pathania dkk, 2020). PGPR dapat menyeimbangkan kadar hormon tanaman dengan mensintesis dan mengeluarkan fitohormon sehingga memfasilitasi peningkatan total luas permukaan dan panjang akar, jumlah rambut akar, dan pertumbuhan sistem akar secara keseluruhan (Vacheron dkk, 2013). Hormon tanaman asam indole asetat (IAA), diketahui membantu pertumbuhan sel tanaman dan pemanjangan jaringan, sehingga menyediakan area permukaan akar yang lebih besar untuk penyerapan nutrisi dan air, dan mengoordinasikan pertahanan seluler terhadap cekaman kekeringan (Etesami dkk, 2015).

Bakteri yang berasosiasi dengan tanaman ini memegang peranan penting dalam membantu dan meningkatkan kesehatan dan pertumbuhan tanaman (Compant dkk, 2010 dalam Purba dkk, 2021). Bakteri ini sebagian besar bermanfaat dan bertindak sebagai biostimulan dengan terlibat secara langsung atau tidak langsung dalam mendorong pertumbuhan dan produksi tanaman.

Beberapa contoh PGPR antara lain *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Rhizobium*, *Azospirillum*, *Acetobacter* (Pathania dkk, 2020).

1. *Bacillus subtilis* sp.

Klasifikasi bakteri *B. subtilis* menurut Madigan dkk. (2005) sebagai berikut:

sebagai berikut:

Kingdom	: Bacteria
Filum	: Firmicutes
Kelas	: Bacilli
Ordo	: Bacillales
Famili	: Bacillaceae
Genus	: Bacillus
Spesies	: <i>Bacillus subtilis</i>

B. subtilis merupakan bakteri saprofit bentuk batang yang biasa ditemukan pada tanah, air dan udara. Sebagian besar spesiesnya bersifat motil dengan flagela dan membentuk endospora berbentuk bundar, oval atau silindris dengan ukuran $0,8 \times 1,5-1,8 \mu\text{m}$ (Gambar 1). Beberapa spesies *B. subtilis* dikenal sebagai kelompok *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) karena mampu menginduksi pertumbuhan dan ketahanan tanaman.



Gambar 1. Morfologi mikroskopis *B. subtilis*, en: endospora, sbb: sel bentuk batang.

(Sumber : Madigan dkk., 2005)

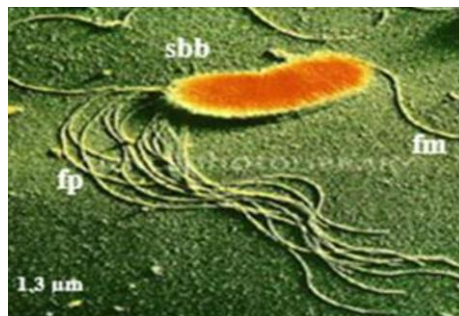
2. *Pseudomonas fluorescens* sp.

Klasifikasi bakteri *Pseudomonas fluorescens* sp. menurut Garrity dkk. (2004) sebagai berikut:

Kingdom	: Bacteria
Filum	: Proteobacteria

Kelas : Gammaproteobacteria
Ordo : Pseudomonadales
Famili : Pseudomonadaceae
Genus : Pseudomonas
Spesies : *Pseudomonas fluorescens*

P. fluorescens merupakan bakteri Gram negatif yang berbentuk bulat panjang atau batang, hampir semuanya motil dengan flagela monotrikus, politrikus dengan ukuran 0,5-1,0 μm x 1,5-4,0 μm dan merupakan bakteri Gram negatif (Gambar 2). Bakteri ini berkolonisasi di dalam tanah, permukaan tanaman dan memanfaatkan bahan organik sebagai sumber nutrisi untuk pertumbuhannya. Bakteri ini memproduksi pigmen biru kehijauan pada saat kandungan Fe (besi) yang rendah serta dapat tumbuh baik pada media yang mengandung garam-garam mineral dengan tambahan sumber karbon yang beragam.



Gambar 2. Morfologi mikroskopis *P. fluorescens*, sbb: sel bentuk batang, fm: flagela monotrikus, fp: flagela politrikus.
(Sumber : Garrity dkk., 2004)

2.2 Kerangka pemikiran

Cekaman air merupakan cekaman abiotik penting yang menyebabkan perubahan metabolisme dan perkembangan tanaman yang berdampak negatif pada produktivitas tanaman (Shirinbayan dkk, 2019). Kekeringan berkontribusi terhadap terhambatnya pertumbuhan dan produksi tanaman. Karena pemanasan global yang disebabkan oleh aktivitas manusia, manusia dihadapkan pada kondisi planet yang semakin kering dan panas. Situasi ini diperkirakan akan memburuk dalam 30 tahun ke depan, dan diperkirakan lebih dari 50% wilayah di bumi akan mengalami kelangkaan air pada tahun 2050 (Gupta et al., 2020a).

Di bawah cekaman kekeringan, PGPR mengatur akumulasi ZPT dalam sel tanaman, ini adalah salah satu mekanisme utama yang digunakan mikroba akar untuk meningkatkan ketahanan tanaman terhadap kekeringan (Lakshmanan dkk, 2017). Cohen dkk. (2009) melaporkan bahwa inokulasi PGPR pada jagung dengan endofit *Azospirillum lipoferum* meningkatkan produksi ABA, IAA, dan GA pada tanaman inang dan selanjutnya meningkatkan ketahanan tanaman terhadap kekeringan. IAA (*Indol Acetic Acid*) ada pada tanaman dan mikroba memainkan peran penting dalam regulasi perkembangan akar. Penelitian lain telah menunjukkan bahwa *Bacillus thuringiensis* dan *Azospirillum* dapat mensintesis IAA untuk mendorong pertumbuhan akar lateral dan bulu akar pada tanaman inang, berkontribusi terhadap peningkatan kapasitas penyerapan air dan ketahanan terhadap kekeringan (Armada dan Roldan, 2014).

ACC (*Aminocyclopropane carboxylate*) deaminase dapat mendegradasi ACC menjadi amino dan asam ketobutirat, sehingga mengurangi akumulasi etilen di bawah cekaman kekeringan, dan ini adalah salah satu mekanisme utama ketahanan tanaman terhadap kekeringan yang dimediasi PGPR (Volpe dkk, 2018). Sejalan dengan penelitian Mayak dkk (2004) melaporkan bahwa inokulasi PGPR pada tanaman tomat dan tanaman lada dengan *Achromobacter* ARV8, menghasilkan ACC deaminase yang dapat mengurangi kadar etilen dan meningkatkan ketahanan tanaman inang terhadap kekeringan. PGPR menghasilkan deaminase ACC yang berperan untuk meningkatkan penyesuaian osmotik dan pertahanan antioksidan tanaman inang di bawah cekaman kekeringan (Zarei dkk, 2020).

Aplikasi penggunaan PGPR bisa menjadi salah satu treatment pada budidaya tanaman kedelai di Indonesia pada saat kendala kekurangan air terutama pada musim kemarau yang sering meyebabkan terjadinya cekaman kekeringan, sehingga dapat meningkatkan produksi kedelai lokal dan mengurangi permintaan kedelai impor. Penanaman varietas kedelai yang toleran di lahan kering, merupakan sakah satu alternatif dalam pengembangan dan peningkatan budidaya kedelai. Pengadaptasian varietas-varietas unggul yang sudah ada pada lahan kering bisa dengan memberikan perlakuan sebelum tanam yaitu dengan perlakuan

invigorasi untuk meningkatkan vigor benih sehingga mampu tumbuh dengan baik pada kondisi cekaman.

Pertumbuhan kedelai terbagi atas dua fase yaitu fase pertumbuhan vegetative dan generatif. Fase pertumbuhan vegetatif terdiri atas tiga fase yaitu fase perkecambahan, perkembangan kotiledon, dan munculnya daun. Fase vegetatif dihitung semenjak tanaman muncul dari dalam tanah hingga awal pembungaan. Sedangkan fase pertumbuhan generatif terdiri dari empat fase yaitu fase mulai berbunga, fase mulai berpolong, fase mulai berbiji dan fase matang penuh (Maimunah dan Bambang, 2018).

Menurut Zainudin dkk. (2014), tanaman yang diinokulasi PGPR menghasilkan perkecambahan yang lebih baik pada perkembangan awal dan pembungaan, juga meningkatkan berat kering akar dan tanaman bagian atas. Pemberian PGPR pada tanaman kacang-kacangan dengan dosis 10 ml dan 20 ml PGPR meningkatkan panjang akar tanaman menjadi lebih panjang dan menambah bobot kering maupun bobot basah akar tanaman, PGPR mampu meningkatkan produksi fitohormon dan mengatur tingkat ROS serta meningkatkan aktivitas enzim antioksidan di sekitar perakaran (Akhtar dkk, 2012).

Sejalan dengan penelitian Ramlah dan Guritno (2019) yaitu bahwa tanaman kedelai dapat tumbuh dan menghasilkan pertumbuhan yang baik pada perlakuan konsentrasi PGPR 1% perliter air. Konsentrasi PGPR 1% perliter air memberikan hasil yang nyata pada parameter tinggi tanaman, jumlah daun, luas daun, bobot berat kering, jumlah bunga, polong total tanaman, berat kering, polong isi pertanaman, polong hampa, dan hasil panen. PGPR yang digunakan pada tanaman mendorong pertumbuhan dan produksi disebabkan oleh akumulasi nutrisi N dan P serta senyawa lain yang diinduksinya, pemberian konsentrasi semakin tinggi maka semakin cepat pertumbuhan tanaman disebabkan banyak fitohormon yang terkandung. Fitohormon berfungsi untuk memacu tumbuh tanaman, dimana PGPR akan menghasilkan IAA sitokinin dan giberelin. Mekanisme yang digunakan PGPR untuk toleransi terhadap cekaman kekeringan yaitu dengan bantuan bakteri yang berasosiasi pada bagian akar meliputi perubahan morfologi akar, produksi osmolit, antioksidan, fitohormon, siderofor,

ACC deaminase, zat polimer ekstraseluler (EPS) dan senyawa organik yang mudah menguap (VOC) (Gouda dkk., 2018).

2.3 Hipotesis

Berdasarkan uraian diatas maka dirumuskan hipotesis sebagai berikut :

1. Terdapat interaksi antara pemberian konsentrasi PGPR dengan cekaman kekeringan terhadap perkecambahan dan pertumbuhan vegetatif tanaman kedelai.
2. Diketahui konsentrasi PGPR yang berpengaruh baik terhadap perkecambahan dan pertumbuhan vegetatif tanaman kedelai pada setiap taraf cekaman kekeringan.