

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA, KERANGKA BERPIKIR DAN HIPOTESIS

2.1 Tinjauan Pustaka

2.1.1 Tinjauan umum tanaman pepaya california

Menurut Hamzah (2014), klasifikasi tanaman pepaya sebagai berikut:

Kingdom	: Plantae
Sub-kingdom	: Tracheobionta (tumbuhan berpembuluh)
Divisi	: Magnoliophyta (tumbuhan berbiji)
Kelas	: Magnoliopsida (berkeping dua/dikotil)
Subkelas	: Dilleniidae
Ordo	: Viales
Famili	: Caricaceae
Genus	: Carica
Spesies	: <i>Carica papaya</i> L.

Pepaya varietas California merupakan tanaman hasil pemuliaan Peneliti Pusat Kajian Holtikultura Tropika (PKHT-IPB). Pepaya California termasuk tanaman berumur genjah yang memiliki keunggulan anatar lain dapat berbuah di setiap musim, tinggi pohon relatif pendek, buah berwarna merah, rasanya lebih manis, segar, dan daging buahnya yang padat. Selain itu, pohon pepaya California dapat menghasilkan 2 hingga 3 buah setiap kali panen (Harsono, 2021).

Tanaman pepaya juga dapat dimanfaatkan dari mulai buah, bunga, akar, daun, batang, dan biji. Pepaya dapat dimanfaatkan sebagai buah segar, olahan, bahan sayuran, dan bisa dimanfaatkan untuk pengobatan tradisional. Sebagai buah segar buah pepaya banyak mengandung 1-1,5% protein, vitamin C (69-71 mg/100 g), kalsium (11-21 mg/100 g), kalium (39-337 mg/100 g), rendah lemak (0,1%), karbohidrat (7-13%), dan kalori (35-39 Kcal/100 g) (Indriyani dan Affandi, 2008).

2.1.2 Karakteristik pepaya

Tanaman pepaya memiliki perakaran dengan sistem akar tunggang (*radix primaria*) karena akar lembaga tumbuh terus menjadi akar pokok yang bercabang-cabang menjadi akar-akar yang lebih kecil. Akar tanaman pepaya dapat tumbuh

pada kedalaman hingga 50 cm dengan arah tumbuh mendatar ke semua arah menjadikan akar pepaya yang memiliki sistem perakaran yang kuat (Agustina, 2017). Perakaran tanaman pepaya dapat tumbuh dan berkembang dengan baik pada tanah yang gembur, subur, tanah mudah menyerap air, dan kedalaman tanah yang cukup.

Pepaya California memiliki tinggi bibit sekitar 10 - 15 cm setelah 30 - 40 hari setelah di semai (PKHT IPB, 2018). Namun, saat tanaman mencapai fase dewasa tinggi tanaman mencapai 1 - 2 m yang tergolong lebih pendek dibandingkan dengan pepaya Bangkok (lokal) sekitar 2 - 3 m (Harsono, 2021). Batang (*caulis*) pepaya berbentuk bulat/silinder, dengan diameter batang pada fase bibit berkisar antara 4,8 - 5,6 cm. Sementara itu, setelah mencapai fase dewasa diameter batang dapat mencapai 9 - 10 cm dengan permukaan batang licin, berongga, dan biasanya tidak bercabang, sedangkan pepaya lokal memiliki diameter yang lebih kecil sekitar 5 - 6 cm (Agustina, 2017).

Bibit pepaya California mempunyai 6 daun setelah 30 - 40 hari setelah semai (PKHT-IPB, 2018). Daun pepaya termasuk ke dalam daun tunggal, berukuran besar, dan tersusun spiral menutupi ujung batang. Organ ini memiliki bagian-bagian daun yang lengkap berupa pelepah atau upih daun (*vagina*), tangkai daun (*petiolus*) dan helaian daun (*lamina*). Organ ini berbentuk bulat (*orbicularis*), ujung daun yang meruncing, tangkai daun panjang dan berongga, pangkal bertoreh serta bagian tepi bergerigi. Organ ini mempunyai susunan tulang daun yang bertulang menjari (*palminerius*) sehingga helaian daun menyerupai telapak tangan (Hamzah, 2014).

Pepaya memiliki bunga berbentuk terompet kecil berwarna kekuningan. Tanaman pepaya mempunyai 3 jenis bunga, yaitu bunga jantan (benang sari), bunga betina (putik), dan bunga sempurna (hermafrodit) atau bisa disebut sebagai tanaman poligam (*polygamous*). Pepaya tergolong tanaman yang menyerbuk silang dengan bantuan angin dan serangga (Indriyani dan Affandi, 2008).

Pepaya California memiliki ukuran buah lonjong, buah berwarna jingga kemerahan, daging buahnya tebal, dagingnya kenyal dengan rasa manis, dan memiliki daya tahan yang lebih lama. Selain itu, pepaya California memiliki berat

buah yang lebih besar dibanding pepaya lokal, yaitu berkisar antara 600 – 1000 g. Sementara itu, pepaya lokal memiliki buah dengan bentuk buah bulat, ukuran yang lebih kecil dari pepaya California, dan biasanya tidak ada jaminan keseragaman. Berat buah pepaya lokal berkisar antara 400 – 700 g (Rangkuti, 2023).

Bagian rongga buah pepaya terdapat biji dalam jumlah banyak, berukuran kecil, permukaan biji berkerut, bentuknya bulat atau bulat panjang, dan terdiri dari dua bagian. Menurut Assauwab (2021), biji pepaya muda berwarna putih dan biji tua berwarna hitam atau kehitaman serta terbungkus oleh lapisan lendir (*pulp*). Lendir tersebut berguna untuk mencegah biji dari kekeringan (Gambar 1.). Biji berwarna putih tidak dapat digunakan karena bersifat abortus (tidak memiliki embrio sejak masih pentil) sehingga biji yang digunakan untuk memperbanyak adalah biji berwarna hitam (Hamzah, 2014).



Gambar 1. Morfologi biji pepaya
Sumber: Assauwab (2021)

2.1.3 Syarat tumbuh pepaya California

Tanaman pepaya dapat tumbuh dengan berbagai macam kondisi lingkungan. Tanaman pepaya menghendaki daerah tropis maupun subtropis untuk budidayeranya. Tanaman dapat tumbuh dengan baik apabila faktor yang berpengaruh terhadap pertumbuhan dan pemeliharaan tanaman dapat dioptimalkan dengan baik, begitupun dengan tanaman pepaya varietas California.

Tanah menjadi media tempat tumbuh tanaman pepaya. Tanaman pepaya California dapat tumbuh dengan baik pada tanah kaya akan bahan organik, subur, dan banyak mengandung humus serta tidak terlalu banyak mengandung air agar tanaman tidak mudah terserang jamur (Ratnawati, 2019). Rata-rata pH tanah yang dianjurkan untuk tempat tumbuh pepaya yaitu sekitar 6,5 - 7,0. Jika pH terlalu asam dapat ditambahkan kapur atau dolomit. Sementara itu, untuk menurunkan pH tanah dari basa ke asam dapat ditambahkan urea (Diponegoro, 2019).

Lahan yang lembab merupakan tipe tanah yang cocok untuk pertanaman pepaya, tetapi tanah tersebut tidak boleh tergenang atau becek karena akar-akar akan membusuk (Indriyani dan Affandi, 2008). Tanah dengan tekstur lempung berpasir atau lempung yaitu dengan kandungan liat dari 15 sampai 30% merupakan tekstur tanah yang ideal untuk pertumbuhan pepaya (Diponegoro, 2019).

Tanaman pepaya california menghendaki curah hujan maksimum 1.500 – 3.800 mm per tahun diikuti rerata bulan kering yaitu 1 - 3 bulan (curah hujan < 60 mm/bulan) dengan kedalaman air 0,5 - 2,0 meter. Pada daerah - daerah dengan musim kering lebih dari 2 bulan maka diperlukan pengairan agar kontinuitas berbunga (berbuah) sepanjang tahun serta kedalaman air tanahnya 50 - 150 cm (Harsono, 2021). Selain curah hujan, lingkungan memegang peranan penting untuk pembentukan bunga menjadi buah. Tanaman pepaya sangat peka terhadap iklim kritis terutama terhadap suhu dan kelembaban.

Tanaman pepaya memerlukan pencahayaan penuh 100%, artinya tanaman pepaya harus terpapar matahari langsung tempat terbuka atau tidak ditutupi oleh tumbuhan naungan (Agroprima, 2013 dalam Diponegoro, 2019). Pepaya California mampu beradaptasi dan tumbuh pada suhu 21-32°C dengan kelembaban udara 40%. Ketinggian tempat yang optimal untuk tanaman pepaya sekitar 500 – 1.500 meter diatas permukaan laut (mdpl) namu idealnya ketinggian tanah kurang lebih antara 600 - 700 mdpl (Indriyani dan Affandi, 2008).

2.1.4 Pertumbuhan awal bibit pepaya

Pertumbuhan awal tanaman pepaya merupakan kegiatan pembibitan tanaman sebelum dipindahkan ke lapangan. Pertumbuhan awal tanaman pepaya

diawali dengan melakukan penyemaian benih terlebih dahulu. Benih adalah salah satu bahan perbanyakan tanaman yang ditujukan untuk penanaman atau budidaya. Benih menjadi salah satu faktor keberhasilan dalam produksi tanaman mencakup sifat genetis, sifat fisik, dan sifat fisiologisnya. Menurut Mi'rati (2023) benih adalah simbol dari suatu permulaan kehidupan di alam semesta dan yang paling penting adalah kegunaannya sebagai penyumbang kehidupan tanaman.

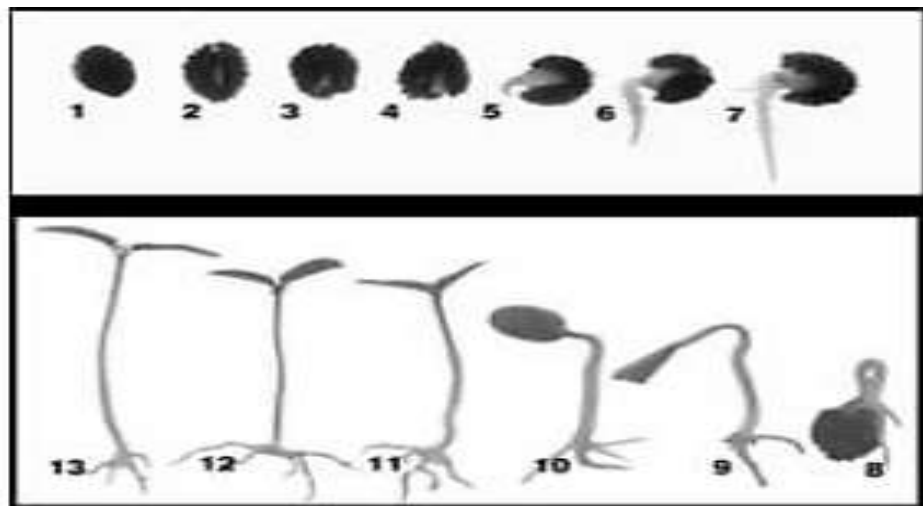
Perkecambahan merupakan terbentuknya suatu kecambah (plumula) ditandai oleh radikula (akar embrionik) yang memanjang ke luar menembus kulit biji. Menurut Sutopo (2002), proses perkecambahan benih terdiri dari beberapa tahapan. Perkecambahan benih tahap pertama diawali dari kemampuan benih menyerap air (imbibisi) melalui mikropil, melunaknya kulit benih terjadi ketika air masuk ke kotiledon menyebabkan bertambahnya volume sehingga sel membengkak, dan terjadinya penambahan air pada protoplasma. Tahap kedua dimulai dengan kegiatan metabolisme sel dan enzim serta naiknya tingkat respirasi benih yang mengakibatkan pembelahan sel dan penembusan kulit biji oleh radikal. Tahap ketiga merupakan tahap penguraian karbohidrat, protein, serta lemak menjadi bentuk yang terlarut dan ditranslokasikan ke titik-titik tumbuh sebagai cadangan makanan. Tahap keempat adalah proses translokasi energi ke titik tumbuh dan asimilasi dari bahan-bahan yang telah diuraikan di daerah meristematik untuk menghasilkan energi bagi kegiatan pembentukan komponen dan pertumbuhan sel baru. Tahap kelima adalah pertumbuhan dari kecambah melalui proses pembelahan dan pembesaran sel-sel pada titik tumbuh (Gambar 2.).

Proses perkecambahan benih dipengaruhi oleh faktor internal dan faktor eksternal. Faktor internal merupakan faktor dari benih itu sendiri meliputi dormansi benih, tingkat kemasakan benih, dan ukuran benih. Sementara itu, faktor eksternal dipengaruhi oleh lingkungan luar seperti ketersediaan air, cahaya matahari, suhu, oksigen, dan media tanam. Proses perkecambahan benih pepaya sangat lambat. Hal ini terjadi karena benih pepaya mengalami masa dormansi. Dormansi merupakan hambatan teknis dari kulit benih yang keras sehingga proses imbibisi air dan udara ke embrio didalam benih terhambat. Benih pepaya diselimuti oleh lapisan lendir

(*sarcotesta*). Adanya *sarcotesta* pada benih menjadi penghambat proses perkecambahan (Faustina dkk, 2012).

Benih pepaya california dapat berkecambah setelah 14 - 21 hari tanam dengan syarat mutu dan persemaiannya baik, kemudian tunas daun akan mulai keluar dari biji yang sebelumnya dorman, sehingga total proses pembibitan memerlukan waktu selama 2 - 3 bulan sebelum bibit dipindahkan ke lapangan/kebun (Hamzah, 2014). Untuk memaksimalkan proses perkecambahan benih perlu dilakukan upaya pematangan dormansi biji pepaya tersebut dengan adanya perlakuan sebelum pembibitan.

Pematangan dormansi merupakan istilah yang digunakan untuk proses atau kondisi yang diberikan untuk mempercepat perkecambahan benih hingga persentase berkecambah tetap tinggi. Perlakuan yang dilakukan ditujukan pada kulit biji, embrio, maupun endosperm biji. Perlakuan yang diberikan dimaksudkan untuk menurunkan tingkat dormansi biji akibat adanya faktor penghambat perkecambahan dan mengaktifkan kembali sel-sel yang dorman.



Gambar 2. Perkecambahan kecambah normal
Sumber: (Assauwab, 2021)



Gambar 3. Kondisi kecambah pepaya abnormal
Sumber: (Assauwab, 2021)

2.1.5 PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*)

PGPR merupakan sekelompok mikroorganisme seperti bakteri, yang berada di lapisan paling luar sekitar perakaran tanaman. Keberadaan bakteri PGPR pada tanaman dapat memberikan keuntungan dalam proses fisiologis dan pertumbuhan tanaman. Adanya aktivitas PGPR memberikan pengaruh pada tanaman baik secara langsung dengan kemampuannya dalam memfasilitasi penyerapan berbagai unsur hara dalam tanah serta mensintesis dan mengubah konsentrasi berbagai fitohormon pemacu tumbuh. Sedangkan secara tidak langsung berkaitan dengan kemampuan bakteri PGPR menghasilkan senyawa seperti antibiotik dan *siderophore* untuk menekan aktivitas patogen (Ramadhan, 2020).

PGPR mempunyai 3 fungsi dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman, yaitu (1) sebagai pemacu atau perangsang pertumbuhan (*Biostimulan*) dengan mensintesis dan mengatur konsentrasi berbagai zat pengatur tumbuh (fitohormon) dalam lingkungan perakaran tanaman seperti auksin (IAA), giberelin, sitokinin, dan etilen; (2) sebagai penyedia hara (*Biofertilizer*) dengan memfiksasi Nitrogen (N) dari udara bebas secara simbiosis ataupun non-simbiosis menjadi amonia yang dapat diserap oleh tanaman serta melarutkan hara Fosfor (P) yang terikat dalam tanah; (3) sebagai pengendali patogen tanah (*bioprotectant*) dengan cara menghasilkan berbagai senyawa atau metabolit anti patogen seperti siderophore, β -1,3-glukanase, kitinase, dan antibiotik (Damamik dan Suryanto, 2018).

Mikroorganisme PGPR dari sebuah akar tanaman terdiri dari beberapa genus. Berbagai jenis bakteri yang telah diidentifikasi sebagai PGPR sebagian besar berasal dari bakteri gram-negatif dengan jumlah strain paling banyak dari genus *Pseudomonas* dan beberapa dari genus *Bacillus*, selain itu terdapat genus *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Acetobacter*, *Bulkholeria*, *Enterobacter*, *Rhizobium*, *Erwinia*, *Flavobacterium*, dan *serratia* (Yulistiana dkk, 2020). Bakteri tersebut terbukti dapat memproduksi fitohormon yaitu auksin, sitokinin, giberelin, etilen, dan asam absisat. Noor dan Melani (2020) menyatakan bahwa kemampuan *Rhizobacteria* dalam melarutkan fosfat, memfiksasi nitrogen atau memproduksi hormon tumbuh merupakan karakteristik rizobakteri yang diharapkan dapat mendukung proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman.

Bakteri *Bacillus subtilis* merupakan salah satu bakteri PGPR yang memiliki kemampuan sebagai agen pengendali hayati serta mampu bertahan pada kondisi lingkungan yang ekstrem. *Fusarium* spp. dan *Rhizoztonia solani* merupakan patogen tular tanah pada tanaman jagung yang dapat dikendalikan oleh *Bacillus subtilis* (Suriani dan Muis, 2016). Bakteri ini akan bersaing dengan patogen tanah dengan cara mengkoloni akar tanaman yang akan menyebabkan terhalangnya patogen mengenai bagian akar. Selain itu, bakteri ini memiliki kemampuan sebagai *decomposer* di dalam tanah dengan menghasilkan hormon auksin yang berperan dalam melarutkan unsur hara yang tidak tersedia menjadi tersedia bagi tanaman sehingga lebih cepat merangsang pertumbuhan akar dan tunas selama pertumbuhan tanaman (Agusta, 2023).

Menurut Suriani dan Muis (2016), kondisi lingkungan bakteri *Bacillus subtilis* dapat hidup dengan atau tanpa adanya oksigen (aerob obligat atau anaerob fakultatif), dapat bertahan hidup pada suhu -5 - 75°C dengan rentang tingkat keasaman (pH) antara 5,57 sampai 8,19, dan bakteri dapat menggandakan diri dengan waktu beregenerasi selama 28,5 menit pada suhu 40°C. Apabila kondisi lingkungan tidak mendukung pertumbuhannya bakteri *B. subtilis* akan membentuk endospora untuk mempertahankan viabilitasnya, sehingga tetap dapat bertahan hidup. Di dalam tanah, bakteri ini akan memanfaatkan eksudat akar tanaman dan bahan tanaman mati sebagai sumber energi.

Pseudomonas flourescens mempunyai peran penting dalam pertanian berkelanjutan terutama sebagai agen pengendali penyakit dan promotor pertumbuhan tanaman (Rahni, 2012). Keunggulan utama yang dimiliki bakteri ini adalah kemampuannya dalam memproduksi metabolit bioaktif yang tidak hanya berfungsi sebagai penghambat pertumbuhan patogen tetapi juga mampu merangsang kekebalan tanaman secara sistemik serta dikenal memiliki kemampuan dalam menghasilkan fitohormon, memifiksasi nitrogen, dan melarutkan fosfat. Sopiana dan Setiawan (2022), keberadaan bakteri *Pseudomonas fluoresces* sangat bermanfaat bagi tanaman karena dapat membantu proses fisiologis tanaman serta meningkatkan pertumbuhan tanaman menjadi lebih optimal dan sehat.

Bakteri *Pseudomonas flourescens* dapat mengendalikan penyakit seperti patogen tanah layu fusarium yang disebabkan oleh *Fusarium oxysporum* pada tanaman tomat dengan cara meningkatkan aktivitas enzim pertahanan (Taruna dkk., 2022). Selaian bagian akar, bakteri ini seringkali ditemukan pada permukaan daun, sisa tanaman yang membusuk, tanah, air, sisa-sisa makanan yang membusuk, dan kotoran hewan (Ramadhan, 2020). Bakteri ini dapat hidup di kondisi lingkungan suhu rizosfer sekitar 4 – 5°C serta mempunyai batas pH untuk pertumbuhannya, yaitu pH 5 – 9, bakteri ini berbentuk batang atau kokus yang memerlukan oksigen untuk kelangsungan hidupnya (Aerob obligat) (Ayesha dkk., 2023).

Bakteri *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas fluorescens* telah dikenal secara luas memiliki potensi memberikan dampak positif untuk berbagai jenis tanaman. Kedua bakteri ini dapat mengkolonisasi daerah rizosfer tanaman dan berasosiasi dengan jaringan perakaran sehingga dapat memengaruhi beberapa proses fisiologis tumbuhan (Istiqomah dkk., 2017). Menurut Taruna dkk. (2022), kedua bakteri ini saling kompatibel karena tidak saling menghambat satu sama lain, sehingga bisa dikonsorsiumkan. Konsorsium mikroba adalah kelompok mikroorganisme beragam yang memiliki kemampuan untuk bertindak bersama-sama dalam suatu komunitas. Kombinasi dan interaksi kedua bakteri ini dalam sistem rizosfer tanaman telah terbukti mampu membantu meningkatkan pertumbuhan tanaman serta melindungi tanaman dari patogen dibandingkan dengan aplikasi inokulasi secara tunggal (Hartono dkk., 2024). Selain itu, kombinasi kedua bakteri ini dapat

menjadi solusi yang sangat efektif untuk membantu pertumbuhan tanaman dengan menyediakan nutrisi bagi tanaman serta menjaga tanaman dari kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan (Taruna dkk., 2024).

Menurut Agustinur dkk. (2023), menjelaskan bahwa proses pembuatan PGPR dapat dilakukan dengan cara merendam akar tanaman bambu beserta tanah yang masih menempel serta dilakukan fermentasi selama 3 hari, Setelah mendapat biang, larutan biang kemudian dicampurkan dengan larutan nutrisi. Larutan nutrisi tersebut terdiri dari campuran 100 g deda, 4 g terasi, 1 g kapur sirih, dan 20 g gula pasir yang dilarutkan dalam 1 liter air. Larutan nutrisi kemudian dimasak hingga mendidih sambil diaduk setelah itu disaring dan didinginkan. Larutan campuran ini kemudian difermentasikan selama 10 hari. Keberhasilan fermentasi PGPR ditandai dengan munculnya aroma khas hasil fermentasi dan kemunculan buih atau gelembung diatas permukaan larutan.

Bakteri PGPR yang diberikan pada tanaman umumnya tidak dapat mempertahankan populasinya yang tinggi di rizosfer, sehingga populasinya menurun dan perannya dalam mendukung pertumbuhan tanaman tidak dapat berjalan secara maksimal. Oleh karena itu, pengaplikasian PGPR pada tanaman dapat dilakukan dengan cara, yaitu perendaman benih dan penyiraman disekitar perakaran tanaman. Menurut Baihaqi dkk. (2018), perendaman benih dengan PGPR bertujuan agar bakteri yang terkandung mampu mengkoloni benih seawal mungkin, sehingga bakteri PGPR akan menguraikan bahan organik yang sulit diserap oleh tanaman menjadi bahan anorganik yang mudah diserap oleh tanaman. Sementara itu, penyiraman menggunakan PGPR berfungsi sebagai perlakuan susulan untuk meningkatkan populasi bakteri yang ada pada daerah rizosfer sehingga dapat membantu penyerapan unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman. Aplikasi penyiraman PGPR dengan frekuensi penyiraman sebanyak 2 kali memberikan perlakuan yang optimal terhadap tinggi tanaman, frekuensi penyiraman tersebut dapat membantu bakteri dalam menguraikan senyawa organik didalam tanah sehingga unsur hara dapat dengan mudah diserap serta tersedia bagi tanaman (Novatriana, 2019).

Pengaplikasian PGPR yang tepat mampu membantu pertumbuhan tanaman dikarenakan bakteri yang terkandung dalam PGPR mempunyai kemampuan mengikat *seed coat* dan melakukan imbibisi ke dalam benih. PGPR berfungsi sebagai *biofertilizer* serta *biostimulan* untuk membantu mempercepat pertumbuhan tanaman (Patading dan Ai, 2021). Sementara itu, populasi bakteri pada perakaran tanaman juga meningkat sehingga proses penyerapan unsur hara oleh tanaman menjadi optimal. Hubungan simbiosis antara bakteri PGPR dengan tanaman dapat bersifat netral, mutualisme atau komensalisme (Rizqiyah dkk, 2022). Keberadaan *rhizobacteria* dapat memberikan pengaruh positif terhadap pertumbuhan tanaman melalui aktivitasnya di dalam tanah, aplikasi PGPR dapat meningkatkan jumlah dan keragaman mikroorganisme yang dapat meningkatkan eksudat akar dan memengaruhi pembentukan lingkungan rizosfer yang dinamis serta kaya akan sumber energi (Nugraha dkk., 2023). Namun, apabila kombinasi PGPR yang diberikan terlalu berlebih akan berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman. Lama perendaman yang tepat dapat memberikan waktu yang cukup bagi mikroba untuk merangsang hormon yang berperan dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Noli dkk., 2024). Sementara itu, pemberian PGPR dengan konsentrasi tinggi dapat menghambat pertumbuhan tanaman dikarenakan produksi hormon IAA oleh bakteri berlebihan akan memacu pembentukan hormon etilen, etilen dalam konsentrasi yang tinggi akan menghambat pemanjangan akar (Agustian dkk, 2018).

2.2 Kerangka berpikir

Pepaya varietas California menjadi salah satu pepaya yang sudah cukup dikenal oleh masyarakat Indonesia. Pengembangan teknik budidaya pepaya yang lebih optimal dalam rangka meningkatkan produksi serta produktivitas tanaman pepaya dapat dilakukan melalui proses budidaya pembibitan yang baik dan efektif. Bibit yang berkualitas dapat diperoleh melalui proses perkecambahan yang baik, namun perkecambahan benih pepaya memerlukan waktu yang tidak singkat.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengatasi perkecambahan pada benih pepaya adalah secara biologis dengan memanfaatkan mikroorganisme. Salah satu mikroorganisme yang dapat ditambahkan yakni berasal dari PGPR

(*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*). PGPR merupakan sekumpulan mikroorganisme yang berada di daerah perakaran tanaman seperti *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas fluorescens*.

PGPR mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman karena kemampuannya memproduksi fitohormon yaitu auksin, sitokinin, giberelin, etilen, dan asam absisat. Kemampuan PGPR sebagai biostimulan dapat membantu benih untuk berkecambah serta dapat menyediakan atau meningkatkan nutrisi bagi tanaman. Menurut Sopiana dan Setiawan (2022), pertumbuhan awal tanaman membutuhkan unsur hara N (Nitrogen) dan P (Phospor), unsur tersebut dalam tanah diperlukan untuk memenuhi nutrisi tanaman sehingga keperluan unsur tersebut bisa terpenuhi sehingga tanaman akan tumbuh dengan baik.

Populasi bakteri yang diaplikasikan pada tanaman umumnya tidak mampu mempertahankan keberadaannya di rizosfer sehingga fungsinya dalam mendukung pertumbuhan tanaman kurang optimal. Mengacu pada penelitian Baihaqi dkk. (2018), pengaplikasian PGPR dapat dilakukan dengan cara lama perendaman dan penyiraman disekitar perakaran tanaman. Perendaman benih dengan PGPR bertujuan agar bakteri yang terkandung dapat mengkoloni benih seawal mungkin. Sementara itu, penyiraman menggunakan PGPR bertujuan untuk meningkatkan populasi bakteri di area rizosfer. Konsentrasi PGPR berkaitan dengan populasi bakteri yang akan ditambahkan ke daerah rizosfer tanaman.

Lama perendaman yang terlalu sebentar menyebabkan imbibisi yang belum maksimal, sehingga metabolisme benih lebih lambat namun apabila perendaman lebih lama akan menyebabkan benih sulit untuk berkecambah karena kekuarangan O₂ (Oksigen) (Noli dkk., 2024). Menurut Nasution dkk. (2024), semakin tinggi konsentrasi yang diberikan menyebabkan efektivitas dari PGPR menurun sehingga menghambat pertumbuhan tanaman, sementara konsentrasi rendah akan kurang berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman. Oleh karena itu, pemberian kombinasi lama perendaman dan konsentrasi PGPR yang tepat dapat memberikan pengaruh terhadap pertumbuhan tanaman. Lama perendaman dan konsentrasi PGPR yang tepat dapat memberikan waktu yang cukup bagi mikroba untuk merangsang produksi fitohormon sehingga dapat membantu meningkatkan potensi

tumbuh benih serta memberikan unsur hara tambahan bagi tanaman (Noli dkk., 2024 dan Nasution dkk., 2024)

Penggunaan PGPR pada tanaman telah dibuktikan oleh beberapa penelitian terdahulu. Penelitian yang dilakukan oleh Agustinur dkk. (2023) menyatakan bahwa aplikasi lama perendaman benih cabai rawit selama 5 jam pada larutan PGPR asal akar bambu berpengaruh sangat nyata terhadap keserempakan tumbuh, daya kecambah, kecepatan tumbuh, dan vigor benih cabai rawit.

Pemanfaatan PGPR akar bambu juga dibuktikan oleh Nasib dkk. (2016), terhadap bibit dan pertumbuhan awal pepaya, hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi larutan PGPR 5 ml/L menghasilkan diameter batang terbesar yaitu 2.03 mm, sedangkan konsentrasi 10 ml/L menghasilkan jumlah daun paling sedikit yaitu 3.34 helai pada fase pembibitan. Sedangkan perlakuan yang terbaik terjadi pada lama perendaman 60 menit dan konsentrasi larutan PGPR 15 ml/L berpengaruh terhadap jumlah daun sebanyak 3.80 helai dan diameter batang mencapai 2.01 mm pada 4 minggu setelah tanam (MST), namun lama perendaman dan konsentrasi PGPR serta interaksi keduanya tidak memengaruhi waktu muncul kecambah.

Penelitian lain yang dilakukan Baihaqi dkk. (2018) mengemukakan bahwa adanya interaksi antara lama perendaman dan konsentrasi penyiraman PGPR terhadap peningkatan luas daun, tinggi tanaman, dan panjang akar tanaman mentimun, luas daun tertinggi ditujukan oleh kombinasi perendaman selama 15 menit dan konsentrasi penyiraman 15 ml/L yaitu menghasilkan luas daun sebesar 2.554,30 mm².

Kombinasi lama perendaman PGPR dan perbedaan dosis penyiraman PGPR juga dilakukan oleh Novatriana (2019) terhadap bawang merah, hasil penelitian menunjukkan perendaman benih selama 30 menit dengan konsentrasi penyiraman 30 ml/L berpengaruh terhadap pertumbuhan serta komponen hasil tanaman bawang merah.

Pemberian PGPR pada fase awal pertumbuhan benih pepaya California melalui kombinasi perlakuan lama perendaman dan konsentrasi PGPR, diharapkan dapat memberikan dampak positif terhadap proses pembibitan sebelum di pindahkan ke lapangan. Perendaman benih dalam PGPR bertujuan membantu

penyerapan air oleh benih serta penyiraman menggunakan PGPR diharapkan dapat meningkatkan populasi bakteri di daerah rizosfer tanaman. Kombinasi perlakuan ini juga diharapkan dapat membantu benih lebih responsif terhadap kondisi lingkungan yang mendukung pertumbuhan optimal, meningkatkan ketahanan tanaman terhadap serangan patogen, dan membantu mempercepat pertumbuhan tanaman pada fase pembibitan tanaman pepaya California sebelum di pindahkan ke lapangan

Oleh karena itu, mengacu pada penelitian Nasib dkk. (2016), konsentrasi PGPR dan lama perendaman berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman pepaya California. Berdasarkan hal tersebut, perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui adanya interaksi antara kombinasi lama perendaman dan konsentrasi PGPR dengan cara penyiraman terhadap proses pembibitan pepaya California. Hasil dari penelitian ini diharapkan diperoleh aplikasi lama perendaman benih dan konsentrasi PGPR yang paling baik terhadap pertumbuhan awal benih pepaya California.

2.3 Hipotesis

Berdasarkan uraian pada kerangka berpikir diatas, maka dirumuskan hipotesis sebagai berikut:

1. Kombinasi lama perendaman dan konsentrasi dalam penyiraman PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*) berpengaruh terhadap pertumbuhan awal benih pepaya California (*Carica papaya* L.).
2. Diketahui salah satu kombinasi lama perendaman dan konsentrasi PGPR paling baik terhadap pertumbuhan awal benih pepaya California (*Carica papaya* L.).