PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kedelai (Glycine Max L. Merill) merupakan komoditas pangan penting setelah padi dan jagung. Menurut Sumadi, dkk, (2017) kandungan protein yang terkandung di dalam kedelai rata-rata mencapai 37–43% dan lemak ±18, sehingga kedelai merupakan bahan baku potensial untuk produk olahan, baik skala industri rumah tangga maupun untuk industri pangan dan pakan. Kebutuhan kedelai meningkat seiring dengan bertambahnya penduduk, berkembangnya industri pakan ternak dan pemahaman akan nilai gizi yang dikandung tanaman kedelai. Meningkatnya permintaan kedelai ternyata tidak sinergis dengan pencapaian produksi yang justru cenderung menurun.

Penurunan produksi tanaman kedelai antara lain disebabkan oleh penguanaan benih yang tidak bermutu, yaitu rendahnya viabilitas dan vigor benih. Langkanya benih bermutu yang ada di pasaran mengharuskan petani tetap menggunakan benih yang tidak bermutu yang diperoleh dari hasil panen sendiri atau dari sesama petani. Penggunaan benih bermutu tinggi dapat dipastikan akan menghasilkan tanaman yang mampu berproduksi secara maksimal (La Mudi, dkk 2018).

Kemunduran benih yang diakibatkan oleh kondisi penyimpanan dan kesalahan dalam penanganan benih, ini merupakan masalah utama dalam hal pengembangan tanaman kedelai. Kemunduran benih merupakan proses mundurnya mutu fisiologis yang menimbulkan perubahan dalam benih baik secara fisik, fisiologis maupun biokimia dimana terjadi penurunan viabilitas benih. Benih yang mengalami kemunduran akan menghasilkan pertumbuhan yang terbatas, sehingga diperlukan perlakuan tertentu sebelum dilakukan penanaman (Rusmin, 2007 dalam ilham, 2022).

Upaya yang dilakukan untuk peningkataan mutu benih yang telah mengalami kemunduran ialah melalui invigorasi. Invigorasi merpakan upaya alternative untuk meningkatkan kembali vigor benih yang telah mengalami deteriorasi, penurunan

kualitas benih yang disebabkan oleh penyimpanan yang tidak tepat atau benih kadaluwarsa, dengan memberikan perlakuan sebelum tanam sehingga metabolism benih akan aktif dan siap memasuki fase perkecambahan (Tefa, 2018 dalam Zarah dkk, 2023). Perendaman benih dengan ekstrak bahan organic berbentuk cair dengan tambahan berupa rizobakteri disebut bio-invigorasi. Bio-invigorasi dilakukan dengan cara merendaman benih dengan bahan organic yang mengandung ZPT dan B. *subtilis* dan P. *fluorencens* sebagai agensi hayati. Penggunaan rizobakteri berupa *Bacillus* sp. dan *Pseudomonas* sp. mampu meningkatkan indeks vigor benih, karena rizobakteri tersebut memiliki peran untuk melarutkan fosfat, menfiksasi nitrogen dan mensitesus hormone auksin (Sutariati dan Wahab, 2012).

1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini yaitu :

1. Mendapatkan konsentrasi pupuk hayat cair yang tepat untuk meningkatkan viabilitas benih kedelai *(Glycine max L.)* melalui bio-invigorasi.
2. Mendapatkan lama perendaman pupuk hayati caik yang tepat untuk meningkatkan viabilitas benih kedelai *(Glycine max L.)* melalui bio-invigorasi.
3. Mengetahui apakah respon viabilitas dan vigor benih kedelai varietas Detap-1 terhadap pemberian pupuk hayati cair pada konsentrasi tertentu dipengaruhi oleh lama perendaman.
4. Mendapatkan kombinasi yang tepat antara konsentrasi dan lama perendaman pupuk hayati cair yang tepat terhadap viabilitas benih kedelai *(Glycine max L.)* melalui teknik bio-invigorasi.

1.3 Kerangka Pemikiran

Di Indonesia kedelai termasuk ke dalam tanaman pangan setelah komoditas padi dan jagung. Kedelai juga termasuk ke dalam komoditas pertanian yang mempunyai multi guna dan sangat penting karena kedelai dapat dikonsumsi secara langsung ataupun dapat menjadi bahan baku dalam agroindustri seperti dapat diolah

menjadi tahu, tauco, oncom, tempe, minyak kedelai, kecap, susu kedelai ataupun dapat digunakan untuk keperluan industri pajan ternak (Arifin, 2013 dalam Afriadi, 2023).

Tanaman kedelai banyak digemari di kalangan masyarakat Indonesia karena memiliki protein yang tinggi dan penggunaannya sendiri sudah meluas di masyarakat. Kedelai memiliki kandungan protein sebanyak 35% bahkan jika kedelai tersebut termasuk ke dalam varietas unggul kadar protein kedelai dapat mencapai 40-43%. Bahkan jika dibandingkan dengan jenis kacang-kacangan yang lain kedelai memiliki kandungan protein lebih tinggi (Loisa dkk, 2013 dalam Afriadi 2023). Kacang kedelai mengandung asam alfat-linolenat, asam lemak omega-6 dan isoflavon, genistein dan daidzein. Kedelai kering mengandung 34% protein, 19% minyak, 34% karbohidrat, 5% mineral. Kedelai sebagai sumber kalsium, zat besi, seng, fosfor, magnesium, tiamin, riboflavin, niasin dan asam folat (Kanchana, 2016 dalam Yudiono, 2020).

Kedelai sampai saat ini masih menjadi komoditas pangan strategis dengan kebutuhan yang terus meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk. Berdasarkan data BPS sampai dengan bulan Desember 2023, kebutuhan kedelai nasional mencapai 2,7 juta ton, sedanghkan produksi kedelai di Indonesia hanya berkisar di antara 555.000 ton (BSIP, 2023).

Kacang kedelai memiliki banyak varietas yang tersebar di Indonesia, di antaranya adalah varietas Anjasmoro, Gepak Kuning, Grobogan, Mallika, Argomulyo, Wilis, Ijen, Dega-1, Deja-1, Demas-1, Denasa-1, Dering-2, Detam-1, Devon-1 dan Detap-1 (DPKP DIY, 2023). Menurut Kementan, 2022 tercatat ada lima varietas unggul kedelai yaitu, varietas Anjasmoro, Argomulyo, Grobogan, Wilis, dan Ijen. Kedelai varietas Detap-1 ini memiliki beberapa keunggulan diantaranya peka terhadap hama ulat grayak (*Spodoptera litura*), tahan terhadap hama penggerek polong (*Etiella zinckenella*), tahan terhadap hama penghisap polong (*Riptoptus linearis*), tahan terhadap penyakit karat daun (*Phakopsora pachiryzi Syd*), dan peka terhadap penyakit virus SMV. Kedelai varietas Detap-1 juga tahan terhadap rebah dan tahan terhadap pecah polong (DPKP DIY, 2023).

Kedelai adalah salah satu benih ortodoks yang memiliki kandungan lemak dan protein yang tinggi, sehingga benih ini tidak dapat disimpan dalam jangka waktu yang lama dan mudah rusak atau menurun mutunya apabila disimpan dalam kadar air yang tinggi atau disimpan pada ruang yang kelembaban tinggi dan suhu ruang yang tinggi. Ketika benih disimpan dalam kondisi yang tidak baik, maka benih akan terus-menerus mengalami kemunduran. Kemunduran tersebut mengakibatkan penurunan mutu baik secara kuantitatif maupun kualitatif yang berupa susut berat karena rusak, memar, cacat, penurunan daya kecambah, dan lain-lain. Laju kemunduran benih dapat disebabkan oleh dua faktor, yaitu faktor internal (dalam) dan faktor eksternal (luar) (Dinarto, 2010).

Solusi yang dapat dilakukan untuk meningkatkan mutu benih yang telah mengalami kemunduran ialah melalui invigorasi. Invigorasi merupakan upaya alternative untuk meningkatkan kembali vigor benih yang telah mengalami deteriorasi, penurunan kualitas benih yang disebabkan oleh penyimpanan yang tidak tepat atau benih kadaluwarsa, dengan memberikan perlakuan sebelum tanam sehingga metabolism benih akan aktif dan siap memasuki fase perkecambahan (Tefa, 2018 dalam Anisa dkk, 2023). Perendaman benih dengan ekstrak bahan organic berbentuk cair dengan tambahan berupa rizobakteri disebut bio-invigorasi. Bio-invigorasi perendaman benih dengan bahan organic yang mengandung ZPT dan B. *subtilis* dan P. *fluorencens* sebagai agensi hayati. Penggunaan rizobakteri berupa *Bacillus* sp. dan P. *fluorencens* mampu meningkatkan indeks vigor, potensi tumbuh maksimum dan daya berkecambah pada benih cabai, karena rizobakteri tersebut memiliki peran untuk melarutkan fosfat, menfiksasi nitrogen dan mensitesus hormon auksin (Sutariati dan Wahab, 2012).

Bio-invigorasi benih dapat menggunakan agensi hayati kelompok rizobakteriseperti *Bacillus subtilis*, *Peudomonas fluoresenc*, *Aspergillus niger*, Rhizobium sp. teknik bio-invigorasi ini menjadi salah satu proses perbaikan biokimia dan fisiologis benih yang berkaitan dengan keserempakan dan kecepatan tumbuh benih dengan menggunakan media berpotensial matriks rendah yang diintegrasikan dengan *Rizhobakteria* sp (Fitriana dkk, 2021). Bio-invigorasi benih

dapat menggunakan kelompok agensi hayati *rhizobakteri* seperti *bacillus subtilis, aspergillus niger, rhizobium sp., Pseudomonas fluorencens, dan azotobacter sp*. kelompok agensi hayati tersebut terkandung dalam pupuk hayati cair yang berfungsi sebagai pemacu pertumbuhan tanaman. Pupuk hayati didefinisikan sebagai substansi yang mengandung mikroorganisme hidup yang megkolonisasi rhizosfir atau bagian dalam tanaman dan memacu pertumbuhan tanaman dengan meningkatkan pasokan ketersediaan hara primer atau stimulus pertumbuhan tanaman (Moelyohadi dkk, 2012).

Pupuk hayati disebut juga sebagai pengurai organisme yang berperan sebagai perombak sisa-sisa organisme lain untuk memperoleh bahan makanannya. Adanya perombak ini memungkinkan zat-zat organic terurai dan mengalami daur ulang kembali menjadi hara yang dapat diseram oleh tanaman (Shafira dkk, 2022). Penelitian ini merupakan penelitian terbaru yang belum pernah dilakukan untuk penggunaan pupuk hayati cair pada bio-invigorasi benih kedelai. Pada umumnya penggunaan pupuk hayati cair diberikan pada tanah sebagai pengurai unsur hara yang terdapat di dalam tanah yang berguna untuk pertumbuhan tanaman.

1.4 Hipotesis

1. Terdapat pengaruh konsentrasi pupuk hayati cair yang dapat meningkatkan viabilitas benih kedelai *(Glycine Max L.)* melalui bio-invigorasi.
2. Terdapat pengaruh lama perendaman dengan menggunakan pupuk hayati cair yang dapat meningkatkan viabilitas benih kedelai *(Glycine Max L.)* melalui bio-invigorasi.
3. Terdapat respon viabilitas dan vigor benih kedelai varietas Detap-1 terhadap pemberian pupuk hayati cair pada konsentrasi tertentu dipengaruhi oleh lama perendaman.
4. Terdapat pengaruh kombinasi antara lama perendaman dan konsentrasi pupuk hayati cair yang tepat terhadap viabilitas benih kacang hijau *(Glycine Max L.)* bio-invigorasi.

1.5 Kontribusi Penelitian

1. Memberikan informasi ilmiah tentang konsentrasi pupuk hayati cair yang tepat untuk meningkatkan viabilitas benih kedelai *(Glycine max L.)* melalui bio-invigorasi.
2. Memberikan informasi ilmiah tentang lama perendaman yang tepat menggunakan pupuk hayati cair untuk meningkatan viabilitas benih kedelai *(Glycine max L.)* melalui bio-invigorasi.
3. Memberikan informasi tentang kombinasi antara lama perendaman dan konsentrasi yang tepat menggunakan pupuk hayati cair untuk meningkatkan viabilitas benih kedelai *(Glycine max L.)* melalui bio-invigorasi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Klasifikasi Tanaman Kedelai

Kedelai mulai dikenal di Indonesia sejak abad ke-16. Tanaman kedelai mempunyai klasifikasi sebagai berikut :

Divisi : Spermatophyta
Subdivisi : Angiospermae
Klas : Dycotyledoneae
Ordo : Polypetales
Famili : Leguminaseae
Subfamili : Papilionoidae
Genus : Glycine
Spesies : *Glycine Max L.*

Kedelai yang tumbuh secara liar di Asia Tenggara meliputi sekitar 40 jenis. Penyebaran geografis dari kedelai mempengaruhi jenis tipenya. Keunggulan suatu varietas dapat dinilai berdasarkan hasil, mutu hasil, ketahanan terhadap hama dan penyakit dan toleransi terhadap cekaman lingkungan abiotic (Stefia, 2017).

2.2 Morfologi Tanaman Kedelai

2.2.1 Akar

Kedelai memiliki ciri khas pada system perakarannya yang dimana akar pada kedelai memiliki interaksi simbiosis dengan bakteri nodul akar (*Rhizobium japonicum*) yang menyebabkan terbentunya bintil akar. Bintil akar memiliki peran yang sangat penting bagi kedelai, yaitu sebagai proses fiksasi nitrogen. Nitrogen ini dibutuhkan oleh tanaman kedelai untuk pertumbuhan dan perkembangannya (Sumarno, 2016).

System perakaran kedelai terdiri sebuah akar tunggang yang terbentuk dari calon akar, sejumlah akar sekunder yang tersusun dalam empat barisan sepanjang akar tunggang, cabang akar sekunder, dan cabang akar advemtif yang tumbuh dari bagian bawah hipokotil. Panjang akar tunggang dipengaruhi oleh beberapa factor diantaranya kekerasan tanah, populasi tanaman, varietas dan sebagainya (Feronica, 2021).

Akar tunggang pada kedelai dapat memanjang hingga kedalaman 200 cm. akar pada tanaman kedelai dapat mengeluarkan berbagai substansi khususnya tripfon yang dapat mengakibatkan bakteri dan mikroba dapat berkembang di sekitar daerah yang menjadi daerah perakaran tanaman kedelai. Pembesaran bintil akar akan berhenti pada minggu keempat yaitu setelah terjadinya proses infeksi bakteri (Adie dan Krisnawati,(2016) dalam Afriadi (2023)).

2.2.2 Batang

Batang kedelai berasal dari poros embrio yang terdapat pada biji yang telah masak. Hipokotil merupakan bagian terpenting pada poros embrio yang berbatasan dengan bagian ujung bawah permulaan akar yang menyusun bagian kecil dari poros bakal akar hipokotil. Bagian atas poros embrio berakhir pada epikotul yang terdiri dari dua daun sederhana, yaitu primodia daun ketiga pertama dan ujung batang. System perakaran diatas hipokotil berasal dari epikotil dan tunas aksiler. Pola percabangan akar dipengaruhi oleh varietas dan lingkungan (Feronica, 2021).

Kedelai memiliki batang yang tidak berkayu, jenis batang semak/perdu, memiliki bulu, batangnya berbentuk bulat dengan warna hijau dan mempunyai panjang yang bervariasi, yaitu berkisar antara 30 sampai 100 cm. Batang pada tanaman kedelai dapat membentuk 3 hingga 6 cabang. Proses percabangan pada tanaman kedelai ini akan mulai tumbuh pada saat tanaman kedelai mencapai ketinggian 20 cm (Afriadi, 2023).

2.2.3 Daun

Kedelai memiliki dua bentuk daun, yaitu bentuk daun oval dan bentuk daun lancip. Hal yang menyebabkan perbedaan bentuk daun pada kedelai ini adalah genetic pada tanaman itu sendiri. Diperkirakan potensi hasil pada tanaman kedelai ini memiliki korelasi atau hubungan yang sangat erat dengan bentuk daun yang dimiliki oleh kedelai itu sendiri. Daerah-daerah yang memiliki tanah dengan tingkat kesuburann yang tinggi sangat cocok untuk tanaman kedelai yang memiliki bentuk daun yang lebar. Stomata yang terdapat pada daun kedelai mencapai 190 hingga 320 buah per m^2. Daun kedelai ini juga memiliki bulu dengan warna cerah. Panjang bulu pada tanaman kedelai dapat mencapai 1 mm dengan lebar 0,0025 mm. Kepadatan bulu pada tanaman kedelai berkisar antara 3-20 buat per mm^2. kepadatan bulu pada kedelai ini bervariasi, tergantung pada varietas kedelai itu sendiri (Afriadi, 2023).

Menurut Suhartina dkk (2013), daun yang ada pada tanaman kedelai adalah tipe daun yang bertangkai tiga atau trifoliate dengan warna daun yang berwarna hijau, hijau muda dan hijau tua.

Daun kedelai memiliki berbagai tipe atau bentuk diantaranya, tipe kotiledon atau tipe daun biji, tipr dua helai daun kedelai primer sederhana, tipe daun bertiga, dan tipe daun profile. Daun primer memiliki bentuk oval dan memiliki panjang tangkai daun 1 hingga 2 cm yang terletak secara berseberangan pada buku pertama tepat diatas kotiledon. Setiap daun yang dimiliki oleh kedelai memiliki sepasang stipula yang terdapat pada dasar daun, dimana dasar daun ini dapat menempel pada bagian batang tanaman kedelai (Adie dan Krinawati, 2016).

2.2.4 Bunga

Pembentukan bunga pada kedelai dipengaruhi oleh suhu dan kelembaban. Pada suhu tinggi dan kelembaban rendah, jumlah sinar matahari yang jatuh pada ketiak tangkai daun lebih banyak, dan hal ini yang merangsang pembentukan bunga pada tanaman kedelai. Ketiak tangkai daun pada setiap tanaman kedelai yang akan membentuk polong hanya berkisar antara 20-80%. Bunga yang rontok tidak akan membentuk polong yang cukup besar. Rontoknya bunga dapat terjadi pada setiap

posisi buku pada 1-10 hari setelah mulai terbentuk bunga. Periode berbunga pada tanaman kedelai cukup lama yaitu sekitar 3-5 minggu untuk daerah subtropis dan 2-3 minggu untuk daerah tropis, seperti di Indonesia (Ilham, 2022).

2.2.5 Buah dan Biji

Polong tanaman kedelai akan terbentuk pertama kali pada umur 7-10 hari setelah munculnya bunga pertama. Panjang polong muda berkisar antara 1 cm. jumlah polong yang terbentuk pada setiap ketiak tangkai daun bervariasi, antara 1-10 buah polong dalam setiap kelompok. Tanaman kedelai dapat menghasilkan lebih dari 50 polong dalam setiap tanaman. Kecepatan pembentukan polong dan pembesaran biji akan semakin cepat setelah proses pembentukan bunga berhenti. Ukuran dan bentuk polong menjadi maksimal pada saat awal periode pemasakan biji (Ilham, 2022).

Perubahan warna polong dari hijau hingga menjadi kuning kecoklatan seiring dengan fase generative pada tanaman kedelai (masak). Biji kedelai terdiri dari dua bagian utama, yaitu kulit biji dan janin (embrio). Pada kulit biji terdapat bagian yang dinamakan pusar (hilum) yang berwarna coklat. Pada ujung hilum terdaoat mikrofil berupa lubang kecil yang terbentuk pada proses pembentukan biji. Kulit biji memiliki beberapa warna, diantaranya kuning, hijau, coklat, hitam, dan kombinasi dari beberapa warna tersebut (Ilham, 2022).

2.3 Syarat Tumbuh Tanaman Kedelai

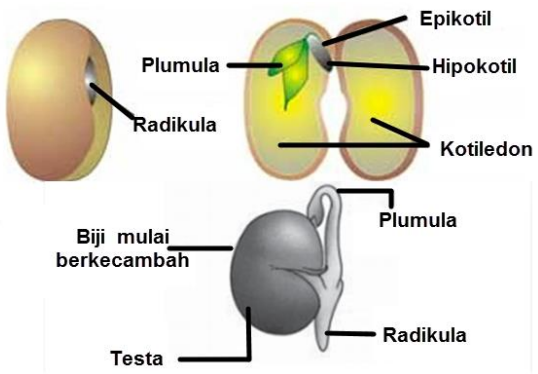
Varietas kedelai berbiji kecil basanya dapat tumbuh baik di lahan dengan ketinggian 0,5− 300 mdpl. Kedelai dapat tumbuh dengan baik di daerah yang memiliki curah hujan minimum yaitu sekitar 800 mm untuk masa pertumbuhannya yaitu sekitar 3 sampai 4 bulan. Menurut Jayasumatra (2012) dalam Afriadi (2023), pada umumnya kondisi iklim yang paling cocok untuk budidaya tanaman kedelaiu adalah daerah-daerah dengan suhu 25℃ sampai 27℃, memiliki kelembaban udara dengan rata-rata sebanyak 65% selama 12 jam per hari dan mendapatkan penyinaran matahari selama 10 jam per hari. Kedelai dapat tumbuh kondisi yang beragam.

Suhu tanah yang optimal untuk proses perkecambahan adalah 30ºC, bila tumbuh pada suhu tanah dibawah 15ºC maka proses perkecambahan dapat berkembang sangat lambat, yaitu sekitar 2 minggu (Ilham, 2022). Hal ini dikarenakan perkecambahan biji tertekan pada kondisi kelembaban tanah yang tinggi dan banyaknya biji yang mati diakibatkan oleh resporasi dari dalam biji yang terlalu cepat (Ilham, 2022).

Pada umumnya tanaman kedelai biasa beradaptasi dengan berbagai jenis tanah, tetapi kedelai lebih menyukai jenis tanah yang memiliki tekstur tanah ringan hingga pada tekstur tanah yang sedang. Kedelai dapat tumbuh dengan baik pada tanah yang memiliki tekstur gembur, tidak memiliki genangan air lembab, serta memiliki pH tanah sekitar 6− 6,8. Tanaman kedelai akan mengalami proses pertumbuhan yang lambat apabila pH tanahnya kurang dari 5,5 dikarenakan pada pH tanah tersebut terjadi proses keracunan yang disebabkan oleh aluminium (Afriadi, 2023).

Menurut Ilham (2022), kedelai dapat tumbuh optimal pada kondisi tanah yang lembab. Kondisi ini dibutuhkan saat benih ditanam hingga pengisian polong. Kekurangan air pada masa pertumbuhan akan menyebabkan kematian pada benih apabila kekeringan sudah mencapai batas toleransi tanaman kedelai. Kedelai ditanam pada tanah yang gembur, subur, kaya kan unsur hara dan bahan organic agar kedelai dapat tumbuh dengan baik dan optimal. Bahan organic yang cukup dalam tanah merupakan sumber makanan pada jasad renik yang pada akhirnya akan akan membebaskan unsur hara untuk pertumbuhan tanaman.

2.4 Morfologi Benih Kedelai



Gambar 1. Morfologi Benih kedelai

Sumber : Pendidikan Perkecambahan Epigeal dan Hipogeal (https://kabarpandeglang.com/perkecambahan-epigeal-dan-hipogeal)

Pertumbuhan awal flora berbiji dimulai dari biji. Biji mengandung potensi yang diharapkan untuk tumbuh menjadi individu baru. Biji kedelai mengandung satu embrio, embrio terdiri dari radikula (yang akan tumbuh menjadi akar) dan plumula (yang akan tumbuh menjadi kecambah). Cadangan makanan embrio tersimpan di dalam kotiledon, yang di dalamnya terkandung pati, protein dan beberapa jenis enzim. Kotiledon dikelilingioleh bahan yang kuat, yang disebut. Testa berfungsi sebagai pelindung ketiledon untuk mencegah kerusakan embrio dan masuknya bakteri atau jamur ke dalam biji. Testa memounyai sebuah lubang kecil, disebut mikropil. Biji mempunyai kandungan air yang sangat sedikit, pada saat biji berkecambah, air yang terdapat dalam biji mengalami kehilangan cairan tubuh. Akibat dari kehilangan air tersebut, biji tidak dapat melangsungkan proses metaboisme sehingga menjadi tidak aktif (dorman).

2.5 Viabilitas dan Vigor Benih

Viabilitas dan vigor benih merupakan komponen penilaian kualitas benih yang dipengaruhi faktor internal maupun eksternal benih, seperti salinitas dan tempertaur. Menurut Sari *et all*. (2022), viabilitas merupakan tolak ukur daya kecambah yaitu simulasi dari kemampuan benih untuk tumbuh dan berproduksi normal dalam kondisi optimum. Menurut Fatikhasari *et all*. (2021), vigor benih merupakan indikator untuk mengetahui keseragaman dan kecepatan perkecambahan.

Vigor benih juga dapat didefinisikan sebagai suatu kemampuan benih untuk tumbuh normal pada kondisi lapang dan lingkungan suboptimum. Vigor berkaitan dengan keadaan lingkungan dimana benih yang tidak normal akan berkecambah. Semakin tinggi pertumbuhan pada suatu benih, maka semakin kuat juga vigor pada

benih tersebut (Zani dan Anhar, 2021). Benih dengan vigor tinggi lebih mampu bertahan dengan baik pada kondisi suboptimum. Benih yang bervigor tinggi mempumyai kemampuan untuk tumbuh lebih cepat, serta daya simpan lebih lama maupun dalam kondisi yang kurang ideal.

Apabila vigor awal benih tidak dapat dipertahankan, maka benih yang disimpan akan selalu mengalami kemunduran mutu selama penyimpanan. Kemunduran mutu ini dapat dilihat dari faktor fisiologis dan biokimiawi pada benih. Faktor fisiologis dapat terindikasi dari penurunan daya berkecambah pada benih, dan faktor kimiawi dapat terindikasi dari penurunan aktivitas enzim, penurunan cadangan makanan dan peningkatan nilai konduktivitas dari benih tersebut (Fathikasari dkk, 2022).

2.6 Bio-Invigorasi

Bio-invigorasi merupakan teknologi yang digunakan pada perkecambahan benih dengan cara mengintegrasikan agensi hayati saat proses imbibisi pada benih berlangsung yang bertujuan memacu pertumbuhan pada benih.

Invigorasi pada benih adalah perlakuan yang diberikan terhadap benih sebelum penanaman yang tujuannya untuk memperbaiki daya berkecambah dan kemampuan tumbuh kecambah. Salah satu perlakuan invigorasi yaitu dengan perlakuan hidrasi yaitu direndam, pembasahan dan pengeringan (Sucahyono dkk, 2013 dalam Megasari, 2021).

Invigorasi dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu *hydropriming, osmopriming, chemical priming, biological priming, hormonal priming, sold matrix priming*, dan *nutripriming* (Marthandan dkk, 2020 dalam Megasari, 2021). Teknologi invigorasi benih yang menggunakan agensi hayati mampu berperan sebagai *Biofertilizer* dan *Biopestisides*. Invigorasi yang menggunakan agensi hayati disebut dengan *Biological Priming* atau bio-invigorasi yang bertujuan agar viabilitas, pertumbuhan, dan hasil tanaman meningkat (Mia dkk, 2010 dalam Megasari, 2021).

2.7 Pupuk Hayati Cair

Pupuk hayati adalah komponen penting dalam pertanian, yang merupakan faktor penting bagi tanah dalam jangka panjang untuk menjaga kesuburan dan keberlanjutan. Menurut Simanungkalit (2001) dalam Delma (2018), pupuk hayati adalah pupuk yang mengandung mikroorganisme hidup yang diberikan ke dalam tanah sebagai inokulan guna membantu tanaman dalam menyediakan unsur hara tertentu bagi tanaman. Pupuk hayati mengandung bakteri yang berfungsi sebagai pemacu pertumbuhan tanaman, sehingga hasil produksi tanaman tetap tinggi dan berkelanjutan. Pupuk hayati merupakan mikrooeganisme yang hidup di dalam tanah dan dapat membantu dalam proses menyediakan nutrisi yang tidak terdapat di dalam tanah (Kalasari dkk, 2023).

Pupuk hayati memiliki peranan penting bagi tanaman, yaitu untuk meningkatkan penyediaan hara bagi tanaman, serta membantu pertumbuhan bagi tanaman. Pupuk hayati juga berfungsi sebagai tempat bersimbiosis antara organisme tanah dan tanaman yang ditanam. Aktivitas mikroba dapat menemukan kondisi yang sesuai dengan pertumbuhannya dan dengan efisien dalam membantu pelarutan unsur hara (Hakim dan Arifin, 2007 dalam Delma, 2018).

Pupuk hayati mengandung mikroorganisme yang berguna sebagai penyumbang N, P dan K melalui kerja enzim nitrogenase dan fosfatase (Kalasari dkk, 2023). Pupuk hayati merupakan bahan yang mengandung mikroorganisme yang bekerja pada rizosfer tanaman berguna untuk meningkatkan nutrisi dan pasokan serta merangsang pertumbuhan tanaman (Zani dan Anhar, 2021).

2.8 Perkecambahan

Perkecambahan adalah proses terbentuknya kecambah. Kecambah sendiri didefinisikan sebagai tumbuhan kecil yang baru muncul dari biji dan hidupnya masih bergantung pada persediaan makanan yang terdapat dalam biji (Mudiana, 2007 *dalam* Pasya, 2022).

Menurut Artika dan Fitriani (2017) dalam Pasha (2022) perkecambahan merupakan proses metabolisme biji hingga dapat menghasilkan pertumbuhan dari

komponen kecambah (plumula dan radikula). Perkecambahan dapat dilihat ketika plumula dan radikula tumbuh normal dalam jangka waktu tertentu sesuai dengan ketentuan ISTA *(Intenasional Seed Testing Association).*

Menurut Kepmentan (2018), evaluasi kecambah memiliki kriteria sebagai berikut :

a. Kecambah Normal
    1. System perakaran berkembang baik dengan akar primer yang panjang atau akar sekunder yang cukup (tergantung jenis benih).
    2. Pada tipe perkecambahan epigeal, hipokotil tumbuh lurus dan memanjang, sedangkan pada tipe perkecambahan hypogeal, epikotil berkembang dengan baik.
    3. Dua kotiledon yang biasanya berwarna hijau dan berbentuk seperti daun.
    4. Satu atau dua daun primer yang berwarna hijau.
    5. Terlihat ada tunas pucuk.

b. Kecambah Abnormal
    1. Kecambah rusak, yaitu dengan satu atau lebih struktur esensialnya tidak ada atau rusak parah.
    2. Kecambah busuk, yaitu kecambh yang salah satu struktur esensialnya terkena penyakit atau busuk akibat infeksi primer sehingga menghambat perkembangan menjadi kecambah normal.