

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kakao

Kakao ialah tanaman perkebunan berupa pohon dengan klasifikasi termasuk divisi Spermatophyta, kelas Dicotyledoneae, bangsa Malvales, suku Sterculiaceae, marga *Theobroma*, dan jenis *Theobroma cacao* L. (Tjitrosoepomo, 1988). Kakao berasal dari hutan tropis di Amerika Tengah dan di bagian utara Amerika Selatan. Tanaman kakao pertama kali dibudidayakan serta digunakan sebagai bahan makanan dan minuman cokelat oleh Suku Maya dan Suku Aztec (Aztec) (Wahyudi *et al.*, 2008). Di Indonesia, kakao dikenal pertama kali pada tahun 1560, tepatnya di Sulawesi, Minahasa (Karmawati *et al.*, 2010).

Secara umum, karakteristik kakao merupakan tanaman tahunan, tinggi tanaman beragam dipengaruhi oleh intensitas naungan dan faktor-faktor tumbuh yang tersedia, bersifat dimorfisme artinya mempunyai dua bentuk tunas vegetatif yakni tunas yang arah pertumbuhannya ke atas (ortotrop) dan tunas yang arah pertumbuhannya ke samping (plagiotrop), setelah mencapai tinggi 0,9-1,5 m tanaman akan berhenti tumbuh dan membentuk jorket (*jourquette*), bentuk helai daun bulat memanjang (oblongus), ujung daun meruncing (acuminatus) dan pangkal daun runcing (acutus), sebagian besar memiliki akar lateral, bunga tumbuh dan berkembang dari bekas ketiak daun pada batang dan cabang (kauliflori), serta biji dibungkus oleh daging buah yang tersusun dalam lima baris mengelilingi poros buah dengan jumlah 20-50 butir per buah (Karmawati *et al.*, 2010). Apabila dirawat dengan baik dan tumbuh normal, tanaman kakao akan berbunga pada umur 3 tahun (Wahyudi *et al.*, 2008). Namun produktivitas kakao mulai menurun setelah tanaman berumur 25 tahun. Tanaman tersebut umumnya memiliki produktivitas yang hanya tinggal setengah dari potensi produktivitasnya dan jika ditanam di lahan marginal maka penurunan produksi dapat terjadi lebih awal (Suhendy, 2007).

2.2 Benih Kakao dan Benih Rekalsitran

Benih digolongkan menjadi *poikilohydrous* dan *homoiohydrous* sebagai istilah lain dari ortodoks dan rekalsitran. Golongan benih *poikilohydrous* pada kasus tertentu memerlukan pengeringan sebagai syarat perkecambahan, sebelum

masak respirasi benih menurun, kandungan asam absisat meningkat dan mRNA meningkat. Kelompok benih ini tidak rusak ketika dikeringkan maupun ketika berimbibisi kembali pada saat perkecambahan. Kelompok benih *homoiohydrous* masak fisiologis atau mencapai umur panen pada kadar air tinggi, tidak toleran pengeringan, penyimpanan benih berkadar air tinggi hanya dapat mempertahankan viabilitasnya dalam waktu singkat. Pengeringan benih tersebut dapat menyebabkan kerusakan yang tidak dapat dipulihkan ketika berimbibisi pada saat perkecambahan (Farrant *et al.*, 1988; Berjak *et al.*, 1990).

Menurut Prawoto (1989), benih kakao digolongkan ke dalam benih rekalsitran. Benih kakao mempunyai ciri daya simpan rendah, cepat kehilangan viabilitas pada berbagai kondisi penyimpanan (Luhukay, 2013), tidak memiliki masa dorman dan berkadar air tinggi (35-40%) (Sumampow, 2011). Sebagaimana halnya dengan benih rekalsitran pada umumnya, benih kakao memerlukan penanganan khusus guna mempertahankan viabilitasnya. Bila kadar airnya dibawah kadar air kritis, viabilitasnya menurun dengan cepat. Sifat benih tersebut menimbulkan masalah dalam penanganannya karena konservasi viabilitas benih berkadar air tinggi menghadapi berbagai kendala yaitu respirasi yang tinggi, mudah terserang cendawan dan benih mudah berkecambah.

Benih rekalsitran dapat digolongkan menjadi *highly*, *moderately* dan *minimally recalcitrant* (rekalsitran penuh, sedang dan minimal) berdasarkan ketahanannya terhadap pengeringan, suhu dan habitatnya. Benih rekalsitran penuh sangat peka pengeringan, cepat berkecambah walaupun tanpa penambahan air, peka suhu, habitatnya di hutan tropika dan daerah basah, misalnya *Syzygium sp.*, *Avicennia marina*. Benih rekalsitran sedang agak toleran terhadap pengeringan, tidak cepat berkecambah dalam kondisi tanpa penambahan air, peka suhu, habitatnya di daerah tropika, misalnya *Theobroma cacao*, *Hevea brasiliensis*. Benih rekalsitran minimal relatif tahan dengan pengeringan, lambat berkecambah dalam kondisi tanpa penambahan air, toleran terhadap suhu rendah, habitatnya di daerah sub-tropika, misalnya *Araucaria hunsteinii* dan *Podocarpus henkelii* (Farrant *et al.*, 1988).

Beberapa hal penting untuk meneliti sifat rekalsitransi ialah habitat alami atau penyebaran tanaman, daya simpan pada kondisi simpan lembab pada suhu

tertentu, kadar air poros embrio dan cadangan makanan, respon benih terhadap dehidrasi dan suhu pengeringan, kepekaan terhadap suhu rendah pada kadar air benih tinggi serta sensitivitas terhadap suhu rendah pada kadar air terendah (Berjak dan Pammenter, 1994).

2.3 Proses Perkecambahan Benih

Proses perkecambahan benih merupakan suatu rangkaian kompleks dari perubahan-perubahan morfologi, fisiologi dan biokimia. Perkecambahan benih dimulai dengan proses penyerapan air oleh benih, melunaknya kulit benih dan hidrasi dari protoplasma (Sutopo, 2002). Setelah benih menyerap air, maka akan menghasilkan hormon tumbuh *giberelic acid* (GA) yang berfungsi untuk menstimulir kegiatan enzim-enzim di dalam benih (Utomo, 2006). Enzim tersebut meliputi enzim amylase, enzim lipase dan enzim protease (Ruliyansyah, 2011). Perkecambahan benih dilanjutkan dengan kegiatan-kegiatan sel dan enzim-enzim serta naiknya tingkat respirasi benih. Asimilasi dari bahan-bahan seperti karbohidrat, lemak dan protein yang telah diuraikan di daerah meristematik digunakan untuk menghasilkan energi bagi kegiatan pembentukan komponen dan sel-sel baru. Selain GA, benih juga menghasilkan hormon auksin untuk selanjutnya berfungsi mendorong sel-sel dalam akar dan batang membesar serta memanjang (Maemunah *et al.*, 2009). Selanjutnya, pertumbuhan kecambah dimulai dari proses pembelahan, pembesaran dan pembagian sel-sel pada titik-titik tumbuh. Sementara daun belum dapat berfungsi sebagai organ untuk fotosintesa maka pertumbuhan kecambah sangat tergantung pada persediaan makanan yang ada dalam biji (Sutopo, 2002).

Menurut Assefa (2008), penyerapan air oleh benih mengikuti pola *triphasic* (3 fase), yang mana diawali oleh penyerapan air secara cepat yang dikenal sebagai imbibisi (fase I), diikuti oleh *lag* fase (fase II), kemudian penyerapan air yang ketiga terkait dengan pertumbuhan kecambah (fase III). Lakitan (1996) menjelaskan bahwa penyerapan air pada fase I tidak tergantung pada proses metabolisme benih, sebaliknya hidrasi berbagai substansi yang terkandung dalam sel benih merupakan titik awal dari reaksi-reaksi biokimia yang akan berlangsung pada benih. Pada fase ini, penyerapan air berlangsung cepat karena perbedaan nilai potensial sebesar 0 Mpa pada air dengan -50 hingga -350 Mpa pada benih.

Pada fase II, serapan air relatif terhenti namun metabolisme benih berlangsung secara aktif sebagai persiapan untuk perkecambahan benih. Pada fase III penyerapan air kembali naik ditandai dengan proses munculnya radikula.

2.4 Viabilitas dan Vigor Benih

Viabilitas benih ialah daya hidup benih yang dapat ditunjukkan dalam berbagai fenomena fisiologis maupun biokimia. Pengujian viabilitas benih bertujuan untuk menentukan potensi perkecambahan maksimal dari suatu lot benih yang dapat digunakan untuk membandingkan mutu benih dari lot yang berbeda. Benih dikecambahkan dalam kondisi lingkungan yang optimum. Dari hasil uji ini dapat digunakan untuk memperkirakan hasil di lapangan. Benih dengan viabilitas tinggi akan menghasilkan bibit yang kuat dengan perkembangan akar yang cepat sehingga menghasilkan pertanaman yang sehat dan mantab (Irawan, 2014).

Benih yang ditanam memberikan dua kemungkinan hasil. Pertama, benih tersebut menghasilkan tanaman normal sekiranya kondisi alam tempat tumbuhnya optimum. Kedua, tanaman yang tumbuh abnormal atau mati. Benih mempunyai daya hidup potensial atau Viabilitas Potensial (V_p), karena hanya akan tumbuh menjadi tanaman normal apabila kondisi alamnya optimum (Sadjad *et al.*, 1999). Viabilitas Potensial (V_p) dapat diamati berdasarkan tolok ukur Daya Berkecambah (DB) dan Bobot Kering Kecambah Normal (BKKN) (Sadjad, 1994). DB adalah muncul dan berkembangnya struktur terpenting dari embrio benih serta kecambah tersebut menunjukkan kemampuan untuk berkembang menjadi tanaman normal pada kondisi lingkungan yang menguntungkan (optimum) (Copeland dan McDonald, 2001). Tolok ukur BKKN akan mencerminkan potensi mutu fisiologi benih selanjutnya karena akan terjamin sumber energi yang cukup (Sadjad *et al.*, 1999).

Dalam penyimpanan, viabilitas benih dipengaruhi oleh faktor luar dan faktor dalam. Pada faktor luar, viabilitas dipengaruhi oleh jenis dan sifat benih, apakah benih berasal dari daerah tropis, sedang atau dingin serta apakah benih termasuk ke dalam golongan mikrobiotik, mesobiotik atau makrobiotik; viabilitas awal dari benih yang ditentukan oleh tingkat kemasakan benih pada saat panen; serta kandungan air benih yang menghendaki keadaan optimal. Pada faktor luar,

viabilitas dipengaruhi oleh temperatur lingkungan yang menghendaki keadaan optimum; kelembaban nisbi lingkungan simpan harus diatur sehingga berkeseimbangan dengan kandungan air benih; gas disekitar benih, keadaan yang dikehendaki adalah keberadaan gas CO₂ yang akan mengurangi konsentrasi O₂ sehingga respirasi benih dapat dihambat; serta mikroorganisme (Sutopo, 2002).

Benih yang masih mampu menumbuhkan tanaman normal, meski kondisi alam tidak optimum atau suboptimum disebut benih yang memiliki Vigor (Vg). Benih yang vigor akan menghasilkan produk diatas normal kalau ditumbuhkan pada kondisi optimum. Vigor benih dibagi menjadi dua kualifikasi, yaitu Vigor Daya Simpan (V_{DS}) dan Vigor Kekuatan Tumbuh (V_{KT}). Vigor Daya Simpan (V_{DS}) merupakan suatu parameter vigor benih yang ditunjukkan dengan kemampuan benih untuk disimpan dalam keadaan suboptimum. Vigor Kekuatan Tumbuh (V_{KT}) dapat diungkapkan oleh tiga kelompok tolok ukur, yaitu Kecepatan Tumbuh (K_{CT}), Keserempakan Tumbuh (K_{ST}) dan Vigor Spesifik (V_{KT Spesifik}). Tolok ukur K_{CT} lebih mengindikasikan vigor benih secara individual, meski kecepatan tumbuhnya diukur sebagai persentase bibit, atau kecambah normal terhadap seluruh benih yang ditanam, atau dikedambahkan untuk waktu yang ditentukan. Tolok ukur K_{ST} merupakan tolok ukur untuk parameter V_{KT} yang unitnya berupa persentase kecambah yang memperlihatkan keserempakan pada media pengujian. Tolok ukur V_{KT} Spesifik diuji validitas dan implementasinya untuk menstimulasi vigor benih terhadap cekaman yang spesifik (Sadjad *et al.*, 1999). Vigor benih yang tinggi dicirikan antara lain, tahan disimpan lama, tahan terhadap serangan hama dan penyakit, cepat dan merata tumbuhnya serta mampu menghasilkan tanaman dewasa yang normal dan berproduksi baik dalam keadaan lingkungan tumbuh yang suboptimum (Sadjad, 1993).

2.5 Kemunduran Benih

Kemunduran benih merupakan satu proses yang dialami setelah benih mencapai masak fisiologis dan akan berlangsung selama benih tersebut mengalami proses pengolahan, pengemasan, penyimpanan dan juga transportasi. Selama transportasi, benih mengalami cekaman yang berupa goncangan, kelembaban nisbi dan suhu udara yang tinggi. Kemunduran benih merupakan penurunan viabilitas benih baik karena faktor alami (deteriorasi) atau oleh faktor-

faktor yang sengaja dibuat (devigorasi) (Sadjad, 1993). Kuswanto (1996) menyatakan bahwa kemunduran suatu benih dapat dilihat dari turunnya kualitas benih yang juga kemampuan benih untuk berkecambah. Benih mencapai vigor dan viabilitas tertinggi pada saat masak fisiologis, setelah itu benih mengalami penurunan vigor dan viabilitas, dan pada akhirnya benih tersebut akan mati. Peristiwa penurunan hingga mencapai kematian inilah yang disebut sebagai proses kemunduran atau deteriorasi.

Menurut Delouche *dalam* Heydecker (1972) kemunduran benih dapat ditunjukkan melalui beberapa indikasi yaitu degradasi pada membran seluler dan selanjutnya kehilangan fungsi kontrol permeabilitasnya, lemahnya energi yang dihasilkan dan konsekuensinya adalah lemahnya biosintesis, menurunnya respirasi dan biosintesis, perkecambahan rendah dan pertumbuhan kecambah lambat, persentase kecambah abnormal meningkat, hilangnya daya berkecambah, daya simpannya menurun, laju pertumbuhan dan perkembangan tanaman menurun, pertumbuhan dan perkembangan di antara tanaman dalam suatu populasi tidak seragam, kepekaan terhadap lingkungan yang menekan (termasuk mikroorganisme) meningkat, dan potensi produksi tanaman menurun.

Ross (1986) mengemukakan teori mengenai penyebab benih kehilangan kemampuannya untuk berkecambah yaitu berkurangnya cadangan makanan di bagian embrio atau cadangan makanan tersedia tetapi mobilitasnya terbatas, perubahan komposisi kimia benih sehingga cadangan energi berkurang untuk perkecambahan, perubahan atau hilangnya integritas membran, penurunan aktivitas enzim dan kerusakan genetik.

Dari berbagai penelitian dapat diungkapkan bahwa perwujudan fisiologis benih rekalsitran yang mundur antara lain dicirikan dengan rendahnya daya berkecambah, kecepatan tumbuh, keserempakan tumbuh, bobot kering kecambah/bibit, dan meningkatnya jumlah kecambah abnormal. Kemunduran benih kakao dapat diakibatkan oleh faktor internal maupun eksternal. Faktor internal antara lain varietas, tingkat kemasakan benih dan kadar air. Faktor eksternal antara lain faktor penanganan benih dan lingkungan seperti kemasakan benih, suhu, kelembaban nisbi ruangan, organism serta lama penyimpanan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa viabilitas benih kakao menurun sangat

cepat bila kondisi konservasinya tidak optimum. Pada tingkat kadar air yang optimum (sekitar 35%), viabilitas benih kakao tanpa perlakuan fungisida hanya dapat dipertahankan kurang dari 2 minggu, sedangkan dengan perlakuan fungisida benomil dan karbendazim + mankozeb (0.2%) daya berkecambah sekitar 80% dapat dipertahankan hingga 6 minggu (Purba, 1992). Penyimpanan benih kakao (kadar air awal 34%) dengan Delsene MX-200 (bahan aktif karbendazim dan mankozeb) dengan dosis 4 g/kg benih dapat menekan perkembangan cendawan dan daya berkecambah di atas 80% dapat dipertahankan hingga 9 minggu, namun vigornya yang diindikasikan dengan kecepatan tumbuh sudah menurun setelah periode konservasi 5 minggu (Yulmiarti, 1995).

2.6 Invigorasi

Invigorasi ialah suatu perlakuan fisik maupun kimia untuk meningkatkan atau memperbaiki mutu benih yang telah mengalami kemunduran (Rusmin, 2007). Proses invigorasi dapat dilakukan sebelum benih ditanam (*preplanting treatment*), sebelum benih disimpan (*prestorage treatment*) atau diantara periode penyimpanan benih (*midle prestorage treatment*). Berbagai cara dapat dilakukan sehubungan dengan perlakuan invigorasi benih sebelum tanam yaitu *priming*, *moisturizing*, *solid matrix priming*, *osmoconditioning*, *hardening*, *humidification*, dan *matriconditioning*.

Priming merupakan perlakuan dimana benih disetimbangkan dengan potensial air yang memungkinkan proses penyerapan air secara lambat atau terkendali tetapi tetap menahan permunculan radikel atau memperlakukan benih dalam suatu larutan osmotik untuk meningkatkan laju perkecambahan dan keserempakan tumbuh. Keberhasilan *priming* tergantung pada jenis benih baik umur maupun spesiesnya, jenis osmotikum, temperatur imbibisi, kadar atau potensial osmotiknya, lamanya *priming*, dan adanya O₂. Istilah lain dari *priming* adalah *osmotic priming*, *solid matrix priming*, *moisturizing* dan *osmoconditioning*. *Osmoconditioning* merupakan penambahan air secara teratur dengan menggunakan larutan garam yang memiliki potensial osmotik rendah dan potensial matriks yang dapat diabaikan dari media imbibisi. Larutan yang biasa digunakan adalah PEG, KNO₃, CaCl₂, K₃PO₄, MgSO₄, NaCl, dan manitol. *Hardening* merupakan perlakuan untuk memberikan toleransi kekeringan dan

sangat efektif dalam meningkatkan persentase perkecambahan biji yang sudah tua. Biji dihidrasi suhu 15-25°C pada berbagai waktu dengan jumlah air dan kadar air akhir benih berkisar 30-70% dari berat kering udara. *Humidification* merupakan pemberian uap air jenuh atau hampir jenuh (100% RH) kepada benih. Perlakuan ini dapat diterapkan guna menjaga viabilitas benih saat penyimpanan, akan tetapi terdapat beberapa kelemahan yaitu kesulitan dalam mempertahankan kondisi suhu konstan dan mencegah kondensasi air pada biji, ketidakmungkinan menjaga kadar air yang seragam selama perlakuan, kerusakan benih selama perlakuan dapat terjadi berlarut-larut dari hidrasi benih serta kandungan benih menjadi berkurang sehingga perkecambahan menjadi terganggu (Khan, 1992).

Matriconditioning merupakan penambahan air secara teratur selama penghambatan perkecambahan pada media padatan yang memiliki potensial matrik rendah dan potensial osmotik yang dapat diabaikan (Khan *et al.*, 1990). Mekanisme kerja *matriconditioning* yaitu mengatur pemasukan air secara perlahan-lahan ke dalam benih dan memungkinkan fase aktivasi lebih lama, sehingga pemunculan radikel (akar) dapat dicegah dan tidak menimbulkan kerusakan pada membran (Baharudin *et al.*, 2010). Media yang digunakan untuk *matriconditioning* harus memenuhi syarat sebagai berikut: 1. memiliki potensial matriks yang rendah dan potensial osmotik yang dapat diabaikan, 2. kelarutan dalam air rendah dan dapat utuh selama *matriconditioning*, 3. merupakan bahan kimia inert dan tidak beracun, 4. kapasitas daya pegang air cukup tinggi, 5. kemampuan aerasi tinggi, mampu untuk tetap kering, 6. kerapatan ruang yang besar dan kerapatan isi yang rendah, dan 7. mampu menempel pada permukaan benih (Khan *et al.*, 1990). Umumnya *matriconditioning* menggunakan media padat lembab seperti kalsium silikat, *Micro-Cel E*, dan zonolit vermikulit, namun keberadaannya masih sangat sulit di Indonesia, sehingga sebagai alternatif dapat digunakan media lain yang memiliki karakteristik dan ciri-ciri yang hampir sama dengan media tersebut. Media padatan tersebut diantaranya adalah abu gosok, arang sekam, pasir kuarsa, serbuk gergaji dan tanah andosol (Suryani, 2003).

Menurut Sadjad *et al.*, (1999), proses invigorasi dapat dilakukan pada awal deteriorasi/devigorasi. Apabila benih itu sudah berlanjut proses deteriorasi/devigorasi, proses invigorasi tidak terjadi. Dengan demikian, secara

teoretis dapat dikemukakan bahwa invigorasi akan efektif mengembalikan vigor apabila vigor benih berada pada tingkat sedang. Widajati (1999) menambahkan bahwa perlakuan *osmoconditioning* secara efektif berpengaruh pada benih yang telah mengalami kemunduran, baik akibat lama penyimpanan (alami) maupun buatan (devigorasi), yaitu dengan nilai daya berkecambah (DB) berkisar antara 72 hingga 90% (bermutu sedang). Tetapi tidak berpengaruh pada benih yang viabilitasnya masih tinggi ($DB > 90\%$), karena kondisi organel-organel masih baik, demikian pula aktifitas enzim-enzim masih tinggi. Sedangkan pada benih yang viabilitasnya rendah ($DB < 72\%$), organel-organel sel pada benih sudah terlalu rusak, sehingga sulit untuk dipulihkan kembali.

Berbagai macam perlakuan invigorasi banyak dilaporkan dapat meningkatkan viabilitas dan vigor benih bahkan produksi dari beberapa komoditas. Invigorasi pada benih rekalsitran melalui perendaman benih dalam larutan zat pengatur tumbuh telah dilakukan antara lain oleh Winarsih (1994) pada benih damar setelah ditransportasi, Rusmin dan Wahab (1994) pada bibit kayu manis yang telah turun mutunya akibat kesalahan prosesing benih. Selain menggunakan zat pengatur tumbuh, Hacidalihoglu (2006) juga melaporkan bahwa *matricconditioning* menggunakan *Micro-Cel E* pada benih lada dapat meningkatkan daya berkecambah 14.7% dibanding kontrol. Untuk benih kakao, perlakuan invigorasi sebelumnya telah dilakukan pada penelitian Naimah (1994) pada benih kakao yang menurun viabilitasnya setelah ditransportasi, Robi (1996) pada benih kakao yang viabilitasnya rendah akibat pengeringan dan Maemunah *et al.* (2009) pada benih kakao varietas lokal yang telah disimpan hingga 8 MST.