

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Benih dan Perkecambahan dalam Perspektif Alqur'an

Alqur'an telah menyebutkan benih dengan kata *Habban* yang berarti biji-bijian, sehingga apa yang dibicarakan oleh ilmu pengetahuan mengenai biji-bijian sebenarnya telah diisyaratkan sebelum ilmu pengetahuan berkembang, sebagaimana Allah SWT telah menyebutkan dalam beberapa ayat Alqur'an salah satunya QS. Ar-Rahman/55 : 10-12 sebagai berikut:

وَالْأَرْضَ وَضَعَهَا لِلْأَنَامِ ﴿١٠﴾ فِيهَا فَكِّهَةٌ وَالتَّخْلُ ذَاتُ الْأَكْمَامِ ﴿١١﴾ وَالْحَبُّ ذُو الْعَصْفِ
وَالرَّيْحَانُ ﴿١٢﴾

Artinya: “Dan Allah telah meratakan bumi untuk makhluk(Nya). Dibumi itu ada buah-buahan dan pohon-pohon kurma yang mempunyai kelopak mayang. Dan biji-bijian yang berkulit dan bunga-bunga yang harum baunya” (QS. Ar-Rahman/55: 10-12).

Surat Ar-rahman ayat 10-12 di atas menjelaskan bahwa Allah SWT mengemukakan kekuasaan-Nya menumbuhkan butir tumbuh-tumbuhan dan biji – bijian yang berkulit *والحب ذو العصف* seperti tanaman Jarak pagar (*Jatropha curcas* L.). Benih adalah simbol dari suatu permulaan yang merupakan inti dari kehidupan dan alam semesta. Sedangkan seperti yang kita ketahui bahwa benih diartikan sebagai biji tanaman yang tumbuh menjadi tanaman muda (bibit), kemudian tumbuh menjadi tanaman dewasa dan menghasilkan bunga. Melalui proses penyerbukan dan pembuahan akan terbentuk biji kembali.

Seperti yang kita ketahui bahwa Allah SWT lah menumbuhkan beranekaragam tanaman sebagaimana disebutkan dalam QS. An-Nahl/16: 11 yang berbunyi:

يُنْبِتُ لَكُمْ بِهِ الزَّرْعَ وَالزَّيْتُونَ وَالنَّخِيلَ وَالْأَعْنَبَ وَمِنْ كُلِّ الثَّمَرَاتِ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَةً لِّقَوْمٍ يَتَفَكَّرُونَ ﴿١١﴾

Artinya: "Dia menumbuhkan bagi kamu dengan air hujan itu tanam-tanaman; zaitun, korma, anggur dan segala macam buah-buahan. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar ada tanda (kekuasaan Allah) bagi kaum yang memikirkan" (QS. An-Nahl/16: 11).

Ayat di atas menjelaskan bahwa Allah SWT telah menjadikan bumi ini terbentang dan terhampar luas agar dapat dimanfaatkan dan ditempati oleh seluruh makhluk hidup. Allah SWT juga menumbuhkan berbagai tanaman biji-bijian seperti tanaman jarak pagar, anggur, sayur-sayuran, zaitun dan pohon kurma, kebun-kebun yang lebat, buah-buahan serta rumput-rumputan agar dapat dimanfaatkan. Semuanya itu benar-benar kekuasaan Allah SWT agar kita selalu bersyukur dan memikirkan kebesaran-Nya.

Perkecambahan bahwasannya sudah diatur oleh Allah SWT sebelum ilmu pengetahuan itu ada, hal ini sesuai dengan firman Allah SWT dalam QS. Al-Qaaf/50: 9 yang berbunyi sebagai berikut:

وَنَزَّلْنَا مِنَ السَّمَاءِ مَاءً مُّبْرَكًا فَأَنْبَتْنَا بِهِ جَنَّاتٍ وَحَبَّ الْحَصِيدِ ﴿٩﴾

Artinya: "Dan kami turunkan dari langit air yang banyak manfaatnya lalu kami tumbuhkan dengan air itu pohon-pohon dan biji-biji tanaman yang diketam" (QS. Al-Qaaf/50: 9).

Ayat di atas menjelaskan bahwa Allah SWT menurunkan air hujan yang banyak manfaatnya, dengan air hujan tersebut maka tumbuhlah berbagai macam

tumbuh-tumbuhan. Firman **فَأَنْبَتْنَا بِهِ جَنَّاتٍ وَحَبَّ الْحَصِيدِ** menjelaskan bahwa biji-bijian itu dapat tumbuh dengan adanya air yang tercurah dari langit, maka dengan air itu maka tumbuhlah berbagai macam biji-bijian termasuk di dalamnya biji jarak pagar yang akan mengalami proses perkecambahan setelah adanya air yang turun dari langit. Proses perkecambahan merupakan fase awal perkembangan tanaman berbiji, yaitu pertumbuhan embrio yang dimulai kembali setelah penyerapan air atau imbibisi. Pada waktu imbibisi, kandungan air mula-mula meningkat dengan cepat, kemudian lebih lambat. Metabolisme jaringan menjadi aktif sehingga menyebabkan embrio memproduksi sejumlah kecil giberelin. Selanjutnya hormon ini berdifusi ke dalam selapis sel aleuron yang mengelilingi sel cadangan makanan endosperm. Sel-sel endosperm akan membentuk enzim, yaitu amilase, protease dan lipase untuk mencerna dan menggunakan berbagai bahan cadangan makanan yang tersimpan. Kemudian sel-sel endosperm mengalami penguraian dan menjadi bentuk-bentuk terlarut. Pada proses sitokinin dan auksin terbentuk yang kemudian merangsang pertumbuhan embrio dan membuat sel-selnya membelah dan membesar (Butarbutar, 2010).

Petunjuk tentang pertumbuhan tanaman dari awal sampai akhir sudah dijelaskan di dalam Alqur'an. Allah SWT menjelaskan mulai berkecambahnya benih atau tumbuhnya bibit sampai pada fase terakhir yaitu kematian terdapat dalam firman Allah SWT dalam QS. Az-Zumar/39: 21

أَلَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَسَلَكَهُ يَنْبِيعَ فِي الْأَرْضِ ثُمَّ نُخْرِجُ بِهِ زَرْعًا مُخْتَلِفًا
أَلْوَانُهُ ثُمَّ يَهِيَجُ فَتَرَهُ مُصْفَرًّا ثُمَّ يَجْعَلُهُ حُطَمًا إِنَّ فِي ذَلِكَ لَذِكْرًا لِأُولِي الْأَلْبَابِ ﴿٣١﴾

Artinya:”Apakah kamu tidak memperhatikan, bahwa Sesungguhnya Allah menurunkan air dari langit, Maka diaturnya menjadi sumber-sumber air di bumi Kemudian ditumbuhkan-Nya dengan air itu tanam-tanaman yang bermacam-macam warnanya, lalu menjadi kering lalu kamu melihatnya kekuning-kuningan, Kemudian dijadikan-Nya hancur berderai-derai. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat pelajaran bagi orang-orang yang mempunyai akal” (QS.Az-Zumar/39: 21).

Firman *يُنْبِيعُ فِي الْأَثْمِ يَخْرُجُ بِهِ* menjelaskan bahwa pertumbuhan tanaman diawali dengan benih yang kering kemudian dengan adanya air maka dia akan tumbuh melalui proses perkecambahan yang telah dijelaskan pada surat Al-Qaaf/50: 9. *زُرْعًا مُخْتَلِفًا أَلْوَانًا ثُمَّ يَكُونُ أَحْمَرَ* Kemudian dari perkecambahan itu akan tumbuh menjadi tanaman dewasa dan terjadi perubahan warna yang pada mulanya hijau menjadi kekuning-kuningan. *ثُمَّ يَكُونُ أَحْمَرَ ثُمَّ يَكُونُ كَالسُّفْرَانِ* Selanjutnya akan menjadi hancur (berderai-derai), itu merupakan suatu pelajaran yang harus dipikirkan setiap manusia yang dibekali akal *لَا إِلَهَ إِلَّا اللَّهُ* oleh Allah SWT agar bisa mempelajari setiap ciptaan-Nya, seperti halnya perubahan warna dari kekuning-kuningan menjadi hijau yang dalam biologi biasa disebut penuaan (*senescence*).

Menurut Abidin (1983), *senescence* adalah suatu penurunan fase pertumbuhan dan kemampuan tumbuh (*vigor*) serta diikuti dengan kepekaan terhadap tantangan lingkungan, penyakit, atau perubahan fisik lainnya. Ciri-ciri terjadinya *senescence* dapat ditemukan pada morfologi dan perubahan di dalam organ atau seluruh tubuh tanaman. Keadaan seperti ini akan diikuti oleh meningkatnya abscission serta daun dan buah berguguran dari batang pokok. Begitu pula pertumbuhan dan pigmentasi warna hijau akan berubah menjadi warna kuning, yang akhirnya buah dan batang pokok terlepas dari batang pokok. Proses *senescence* berkembang dari fase 1 sampai fase 4. Pada fase 1, daun

tumbuh dan berkembang serta berfungsi sebagai organ penting bagi tubuh tanaman, dan pada fase ini terjadi sintesis protein. Fase berikutnya yaitu fase 2. Pada fase ini daun menjadi matang dan berkembang secara sempurna. Selanjutnya fungsi daun meningkat sebagai organ penyuplai bahan makanan melalui proses fotosintesis. Kemudian meningkat ke fase 3. Pada fase ini aktivitas hidrolisis meningkat dan proses *yellowing* (penguningan) sangat cepat dan sintesis protein menurun. Fase terakhir yaitu fase 4, di dalam fase ini lamella sel menjadi lemah dan terjadi abscission dan terjadi pemecahan enzim dan abscission zone. Sehingga, daun, bunga, dan buah akan terlepas dari batang dan jatuh berguguran.

2.2 Botani Tanaman Jarak Pagar (*Jatropha curcas* L.)

2.2.1 Klasifikasi Jarak Pagar (*Jatropha curcas* L.)

Jarak Pagar termasuk tanaman asli daerah tropis termasuk ke dalam famili Euphorbiaceae. Klasifikasi tanaman jarak pagar menurut Syakir (2010) adalah sebagai berikut:

Kingdom: Plantae

Divisi: Magnoliophyta

Kelas: Magnoliopsi

Ordo: Euphorbiales

Famili: Euphorbiaceae

Genus: *Jatropha*

Spesies: *Jatropha curcas* L.

2.2.2 Ciri Morfologi Jarak Pagar (*Jatropha curcas* L.)

Penjelasan tentang morfologi Jarak pagar (*Jatropha curcas* L.) dari batang, daun, bunga dan buah sebagaimana tersaji pada gambar 2.1 adalah sebagai berikut:

Batang tanaman jarak pagar berupa perdu dengan tinggi 1-7 m, cabang tidak teratur. Batangnya berkayu, silindris, dan bila terluka mengeluarkan getah. Daun tanaman jarak pagar adalah daun tunggal berlekuk dan bersudut 3 atau 5. Daun tersebar di sepanjang batang. Permukaan atas dan bawah daun berwarna hijau dengan bagian bawah lebih pucat dibanding permukaan atas. Daunnya lebar dan berbentuk jantung atau bulat telur melebar dengan panjang 5-15 cm. Helai daunnya bertoreh, berlekuk, dan ujungnya meruncing. Tulang daun menjari dengan jumlah 5-7 tulang daun utama. Panjang tangkai daun antara 4-15 cm (Hambali *et al.*, 2007).

Bunga tanaman jarak pagar adalah bunga majemuk berbentuk malai, berwarna kuning kehijauan, berkelamin tunggal, dan berumah satu. Bunga betina 4-5 kali lebih banyak dari bunga jantan. Bunga jantan maupun bunga betina tersusun dalam rangkaian berbentuk cawan yang tumbuh di ujung batang atau ketiak daun. Bunganya mempunyai 5 kelopak berbentuk bulat telur dengan panjang kurang lebih 4 mm. Benang sari mengumpul pada pangkal dan berwarna kuning. Bunganya mempunyai mahkota berwarna keunguan. Setiap tandan terdapat lebih dari 15 bunga. Jarak pagar termasuk tanaman monoecious dan bunganya uniseksual. Kadangkala muncul bunga hermaphrodit yang berbentuk cawan berwarna hijau kekuningan (Hambali *et al.*, 2007).

Buah tanaman jarak pagar berupa buah kotak berbentuk bulat telur dengan diameter 2-4 cm. Panjang buah 2 cm dengan ketebalan sekitar 1 cm. Buah berwarna hijau ketika muda serta abu-abu kecoklatan atau kehitaman ketika masak. Buah jarak terbagi menjadi 3 ruang, masing-masing ruang berisi 1 biji sehingga dalam setiap buah terdapat 3 biji. Biji berbentuk bulat lonjong dan berwarna coklat kehitaman. Biji inilah yang banyak mengandung minyak dengan rendemen 30-50% dan mengandung toksin sehingga tidak dapat dimakan (Hambali *et al.*, 2007)



Gambar 2.1 Morfologi Jarak Pagar (*Jatropha curcas* L.) (Irwanto,2006)

Tanaman jarak pagar mempunyai sistem perakaran yang mampu menahan air dan tanah sehingga tahan terhadap kekeringan serta berfungsi sebagai tanaman penahan erosi.

2.2.3 Syarat Tumbuh Jarak Pagar (*Jatropha curcas* L.)

Jarak pagar tumbuh di dataran rendah sampai ketinggian sekitar 500 m di atas permukaan laut. Curah hujan yang sesuai untuk tanaman jarak pagar adalah 625 mm/tahun, namun tanaman ini dapat tumbuh pada daerah dengan curah hujan

antara 300-2389 mm/tahun (Hambali *et al.*, 2007). Pertumbuhan jarak pagar sangat cepat. Waktu yang paling baik untuk menanam jarak pagar adalah pada musim panas atau sebelum musim hujan (Suryatini, 2011).

Jarak pagar dapat tumbuh pada berbagai ragam tekstur dan jenis tanah, baik tanah berbatu, tanah berpasir, maupun tanah berlempung atau tanah liat. Di samping itu, jarak pagar juga dapat beradaptasi pada tanah yang kurang subur atau tanah bergaram, memiliki drainase baik, tidak bergenang, dan pH antara 5-6,5 (Hamblali *et al.*, 2007). Jarak pagar ini bisa tumbuh pada keadaan tanah yang subur maupun tidak subur. Allah SWT mengemukakan dalam Alqur'an bahwa setiap tanaman dapat tumbuh subur dengan izin Allah. Firman Allah dalam QS. Al A'raff/ 7: 58 yang berbunyi:

وَالْبَلَدُ الطَّيِّبُ يَخْرُجُ نَبَاتُهُ بِإِذْنِ رَبِّهِ ۗ وَالَّذِي خَبثَ لَا يَخْرُجُ إِلَّا نَكِدًا ۚ كَذَلِكَ نُصَرِّفُ
الْآيَاتِ لِقَوْمٍ يَشْكُرُونَ ﴿٥٨﴾

Artinya: "Dan tanah yang baik, tanaman-tanamannya tumbuh subur dengan seizin Allah; dan tanah yang tidak subur, tanaman-tanamannya Hanya tumbuh merana. Demikianlah kami mengulangi tanda-tanda kebesaran (kami) bagi orang-orang yang bersyukur" (Qs. Al A'raff/ 7: 58).

Firman *وَالْبَلَدُ الطَّيِّبُ يَخْرُجُ نَبَاتُهُ بِإِذْنِ رَبِّهِ* adalah *tanah yang subur*, tanah yang memiliki unsur hara yang dapat ditanami oleh berbagai macam tumbuhan sehingga dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan manusia. Tanah merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari kehidupan tanaman dan digunakan untuk menyimpan unsur hara makro maupun mikro untuk kelangsungan hidupnya.

Firman *وَالَّذِي خَبثَ لَا يَخْرُجُ إِلَّا نَكِدًا* yang artinya *tanah kurang subur atau masam* yaitu tanah yang memiliki nilai pH kurang dari 5,5 dan mengalami

berkali-kali pencucian. Namun demikian beberapa tanaman dapat tumbuh dan berproduksi pada tanah masam, salah satunya adalah kedelai. Allah SWT menciptakan segala sesuatu tidak dalam keadaan sia-sia, misalnya tanah masam bisa ditumbuhi kedelai. Kedelai merupakan tanaman *leguminosae* yang produk olahannya banyak dikonsumsi oleh masyarakat. Di samping itu menurut Mursidah (2005) disebutkan bahwa sebagai bahan makanan, kedelai lebih baik jika dibandingkan dengan kacang tanah, karena kandungan protein dan lemak pada kedelai lebih baik daripada kandungan protein dan lemak pada kacang tanah. Kandungan lemak kedelai tidak begitu tinggi (6-20%). Kandungan protein kedelai cukup tinggi dengan faktor cerna 75-80%. **كَذَلِكَ نَصْرَفُ الْأَيْتَ لِقَوْمٍ يَشْكُرُونَ**
Sesungguhnya rahmat Allah amat dekat kepada orang-orang yang berbuat baik, meskipun tanah itu kurang subur maupun tanah subur sebagai manusia yang dibekali akal harus bisa memanfaatkannya untuk kebutuhan hidup tanpa harus merusaknya.

Tanah yang subur mengandung unsur hara yang cukup sehingga tanaman dapat tumbuh dengan baik, jika unsur hara kurang maka pertumbuhan tanaman akan terhambat. Kesuburan tanah adalah suatu kemampuan tanah untuk menyediakan unsur hara dengan jumlah cukup dan seimbang. Tanaman mempunyai kebutuhan unsur hara makro yang meliputi Ca, Mg, K, N, P dan S, sedangkan unsur mikro adalah Fe, Mn, Bo, Cu, Zn, Mo, Cl yang masing-masing dalam jumlah yang tidak sama (Salisbury, 1992).

Kisaran suhu yang sesuai untuk bertanam jarak pagar adalah 20-26° C. Pada daerah dengan suhu terlalu tinggi (di atas 35° C) atau terlalu rendah (di

bawah 15° C) akan menghambat pertumbuhan serta mengurangi kadar minyak dalam biji dan mengubah komposisinya (Hambali *et al.*, 2007).

2.2.4 Tipe Benih Jarak Pagar (*Jatropha curcas* L.)

Benih tanaman jarak pagar termasuk benih ortodoks. Benih ini tahan terhadap kadar air rendah dan toleran terhadap suhu rendah. Menurut Hasnam dan Mahmud (*dalam* Syakir 2006), untuk penyimpanan benih jarak pagar harus dikeringkan sampai kadar airnya mencapai 5-7%, namun karena mempunyai kadar minyak yang tinggi benih jarak pagar tidak dapat disimpan lama tanpa perlakuan khusus (biji jarak pagar harus cukup kering dengan kondisi penyimpanan yang baik terhindar dari cendawan atau suhu dingin). Pada observasi di kebun percobaan muktiharjo, untuk mengeringkan benih jarak sampai kadar airnya lebih kurang 7 % diperlukan waktu 3-4 hari dengan pengeringan di bawah sinar matahari (Sudjindro dan Adikadarsih, 2007).

2.3 Viabilitas Benih

Menurut Sadjad (1994) viabilitas benih adalah daya hidup benih yang dapat ditunjukkan oleh proses pertumbuhan benih atau gejala metabolismenya. Penurunan viabilitas sebenarnya merupakan perubahan fisik, fisiologis dan biokimia yang akhirnya dapat menyebabkan hilangnya viabilitas benih. Salah satu gejala biokimia pada benih selama mengalami penurunan viabilitas adalah terjadinya perubahan kandungan beberapa senyawa yang berfungsi sebagai bahan sumber energi utama. Dalam hal ini benih mempunyai persediaan sumber energi

karena terjadi perombakan senyawa makro seperti lemak dan karbohidrat menjadi senyawa metabolik yang lebih sederhana (Pirenaning, 1998).

Menurut Sadjad (1994), viabilitas benih dibagi menjadi 2 macam, yaitu viabilitas optimum (viabilitas potensial) dan viabilitas suboptimum (vigor).

1. Viabilitas Optimum (Viabilitas potensial)

Viabilitas potensial yaitu apabila benih lot memiliki pertumbuhan normal pada kondisi optimum. Benih memiliki kemampuan potensial, sebab lapangan produksi tidak selalu dalam kondisi optimum. Sutopo (2004) menjelaskan bahwa viabilitas optimum disebut juga daya kecambah karena yang digunakan dalam kecambah. Hal ini berdasarkan pada pengertian bahwa struktur tumbuh pada kecambah normal mempunyai kesempurnaan tumbuhnya yang dapat dilihat dari bobot keringnya. Selain bobot kering kecambah dan daya kecambah, untuk deteksi parameter viabilitas potensial juga digunakan indikasi tidak langsung yang berupa gejala metabolisme yang ada kaitannya dengan pertumbuhan benih.

2. Viabilitas Suboptimum (Vigor)

Menurut Sadjad (1993), viabilitas suboptimum atau vigor merupakan suatu kemampuan benih untuk tumbuh menjadi tanaman yang memproduksi normal dalam keadaan lingkungan yang suboptimum dan memproduksi tinggi dalam keadaan optimum atau mampu disimpan dalam kondisi simpan yang suboptimum dan tahan simpan lama dalam kondisi yang optimum.

Rendahnya vigor pada benih dapat disebabkan oleh beberapa faktor yaitu faktor genetik, fisiologis, morfologis, sitologis, mekanis, dan mikroba. Faktor genetik yaitu ada kultivar-kultivar tertentu yang lebih peka terhadap lingkungan

yang kurang menguntungkan, ataupun tidak mampu untuk tumbuh cepat dibandingkan kultivar lainnya.

Faktor fisiologis merupakan kondisi fisiologis dari benih yang dapat menyebabkan rendahnya vigor adalah kurang masakny benih pada saat panen dan kemunduran benih selama penyimpanan. Faktor morfologis yaitu dalam mutu kultivar, biasanya terjadi peristiwa benih-benih yang lebih kecil menghasilkan bibit yang kurang memiliki kekuatan tumbuh di bandingkan dengan benih besar. Faktor sitologis, kemunduran benih yang disebabkan antara lain oleh aberasi kromosom (Sadjad, 1994)

Faktor mekanis yaitu kerusakan mekanis yang terjadi pada benih baik pada saat panen, ataupun penyimpanan sering pula mengakibatkan rendahnya vigor pada benih. Sedangkan faktot terakhir yaitu mikroorganisme seperti kapang dan bakteri yang terbawa oleh benih akan lebih berbahaya bagi benih pada kondisi penyimpanan yang tidak memenuhi syarat ataupun pada kondisi lapangan yang memungkinkan mengakibatkan penurunan vigor benih (Kartsapoetra, 1986).

2.4 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Viabilitas Benih dalam Penyimpanan

Menurut Sutopo (2004), viabilitas benih dalam penyimpanan dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu: jenis dan sifat benih, viabilitas awal benih, kandungan air benih, temperatur, kelembaban, gas disekitar benih serta mikroorganisme. Jenis dan sifat benih ini berhubungan dengan asal benih dari tanaman daerah tropis, sedang atau dingin yang bersifat hidrofit, mesofit atau xerofit sehingga memudahkan dalam mempertahankan viabilitas benih selama penyimpanan. Cara

dan tempat penyimpanan harus ditentukan sesuai dengan jenis dan sifat benih yang disimpan.

Viabilitas awal benih yaitu benih yang disimpan harus mempunyai viabilitas awal semaksimal mungkin untuk dapat mencapai waktu simpan yang lama. Selama masa penyimpanan yang terjadi hanyalah kemunduran dari viabilitas awal tersebut. Benih-benih dengan viabilitas awal yang tinggi lebih tahan terhadap kelembaban serta temperatur tempat penyimpanan yang kurang baik dibandingkan dengan benih-benih yang memiliki viabilitas awal yang rendah, dimana penyimpanan mempengaruhi viabilitas benih, hal ini disebabkan karena sifat benih yang higroskopis yaitu selalu menyesuaikan diri dengan lingkungan disekitarnya. Kandungan air yang tinggi dalam benih dengan kelembaban udara yang rendah menyebabkan penguapan air dari dalam benih dan mempertinggi kelembaban udara di sekitar benih begitu juga sebaliknya bila kandungan air dalam benih rendah sedangkan kelembaban udara di sekitar benih tinggi akan mengakibatkan terjadinya penyerapan air oleh benih dan penurunan kelembaban udara sekitar benih sampai tercapai tekanan yang seimbang. Kelembaban ruang simpan harus diatur sehingga kadar air benih pada keadaan yang menguntungkan untuk jangka waktu simpan yang panjang. Pada kebanyakan jenis benih, kelembaban nisbi ruang penyimpanan antara 50-60%, dan suhu 0-10°C adalah cukup baik untuk mempertahankan viabilitas benih, paling tidak untuk jangka waktu penyimpanan selama 1 tahun.

Kandungan air benih yang akan disimpan sebaiknya memiliki kandungan air yang optimal, yaitu kandungan air tertentu di mana benih tersebut dapat

disimpan lama tanpa mengalami penurunan viabilitas benih. Makin tinggi kandungan air benih makin tidak tahan benih tersebut untuk disimpan lama.

Temperatur yang terlalu tinggi pada saat penyimpanan dapat mengakibatkan kerusakan pada benih, karena akan memperbesar terjadinya penguapan zat cair dari dalam benih, hingga benih akan kehilangan daya imbibisi dan kemampuan untuk berkecambah. Temperatur optimum untuk penyimpanan jangka panjang terletak antara $-18-0^{\circ}\text{C}$. Suhu udara dapat mempengaruhi proses biokimia maupun organisme lainnya untuk aktif. Proses biokimia serta aktivitas serangga, jamur dan bakteri dapat terhambat pada kondisi di bawah $8-10^{\circ}\text{C}$. Pada kondisi demikian dapat mengakibatkan kerja enzim yang terkandung di dalam benih dalam fase istirahat, sehingga dengan demikian baik enzim yang terdapat di dalam benih, serangga, bakteri maupun jamur tidak aktif. Sehingga benih aman apabila dikondisikan pada suhu tersebut. Tekanan oksigen diperlukan benih untuk melakukan proses respirasi. Benih yang disimpan sebaiknya mempunyai tekanan yang cukup untuk mempertahankan viabilitas benih. Tekanan yang terlalu rendah kurang baik bagi benih karena dengan tekanan yang rendah disertai kadar air yang tinggi dapat merangsang aktivitas jamur dan bakteri anaerob, sedangkan tekanan yang tinggi juga dapat mengakibatkan respirasi berlebih yang dapat menyebabkan benih menjadi “kopong” (semacam “hampa”) akibat cadangan makanan habis digunakan untuk proses respirasi.

Selama penyimpanan, metabolisme dalam benih tetap berlangsung. Sehingga terjadi perombakan cadangan makanan secara terus-menerus terhadap

simpanan cadangan makanan yang akan menghasilkan energi ATP dan unsur hara. Cadangan makanan ini bisa habis sebelum berkecambah.

Kelembaban lingkungan selama penyimpanan juga saat mempengaruhi viabilitas benih, ketika kandungan air yang tinggi dalam benih dan kelembaban rendah maka akan menyebabkan penguapan air dalam benih dan begitu juga sebaliknya ketika kandungan air benih rendah dan kelembaban tinggi maka akan menyebabkan penyerapan air. Kelembaban nisbi lingkungan simpan harus diatur sehingga keseimbangan dengan kandungan air benih pada keadaan yang menguntungkan untuk jangka waktu simpan yang panjang. Bagi kebanyakan jenis benih kelembaban nisbi antar 50-60% temperatur antara 0°-10°C adalah cukup baik untuk mempertahankan viabilitas benih paling tidak untuk jangka waktu penyimpanan selama setahun.

Gas disekitar benih dapat mempertahankan viabilitas benih, misalnya gas CO₂ yang akan mengurangi konsentrasi O₂ sehingga respirasi benih dapat dihambat atau menggantikan O₂ dengan gas nitrogen. Kegiatan mikroorganisme yang tergolong dalam hama dan penyakit gudang dapat mempengaruhi viabilitas benih yang disimpan. Menurut Halim (*dalam* Sutopo 2004) ada dua macam kapang yang menyerang benih yaitu:

- a. *Field fungi* (cendawan lapangan) adalah cendawan yang menyerang benih sebelum dipanen atau sesudah panen pada waktu menanti proses pengeringan. Kerusakan yang terjadi adalah menurunkan kualitas benih yang meliputi warna, rasa dan bau.

b. *Stirage fungi* (cendawan di penyimpanan) adalah cendawan yang menyerang benih pada waktu penyimpanan. Cendawan ini mengadakan kontaminasi pada benih saat di lapangan dan terbawa benih sampai penyimpanan, jika tempat penyimpanan memungkinkan cendawan akan tumbuh cepat dan menginfeksi benih.

2.5 Perkecambahan Benih

2.5.1 Mekanisme Perkecambahan

Perkecambahan adalah berkembangnya struktur penting dari embrio yang ditadai dengan munculnya struktur embrio dengan menembus kulit benih (Suena, 2005). Perkecambahan dapat terjadi apabila substrat (karbohidrat, protein dan lipid) berperan sebagai penyedia energi yang akan digunakan dalam proses morfologi (pemunculan organ-organ tanaman). Dengan demikian kandungan bahan kimia yang terdapat dalam biji merupakan faktor yang sangat menentukan dalam perkecambahan biji (Azhari, 1995).

Alqur'an surat Al-An'am/6: 95 menjelaskan bahwa Allah telah menumbuhkan biji-biji tumbuhan.

إِنَّ اللَّهَ فَالِقُ الْحَبِّ وَالنَّوَىٰ ۖ يُخْرِجُ الْحَيَّ مِنَ الْمَيِّتِ وَيُخْرِجُ الْمَيِّتَ مِنَ الْحَيِّ ۚ ذَٰلِكُمْ اللَّهُ فَالِقُ ۖ فَأَنَّىٰ تُؤَفَّكُونَ ﴿٩٥﴾

Artinya: “*Sesungguhnya Allah menumbuhkan butir-butir tumbuh-tumbuhan dan biji buah-buahan. dia mengeluarkan yang hidup dari yang mati dan mengeluarkan yang mati dari yang hidup (yang memiliki sifat-sifat) demikian ialah Allah, Maka Mengapa kamu masih berpaling?*” (Qs. Al-An'am/ 6:95).

Ayat tersebut menjelaskan bahwa Allah SWT yang menguasai perjalanan benih (biji) yang kering dan inti yang diam. Allah SWT telah menumbuhkan biji dan benih tumbuhan-tumbuhan. Artinya, Allah SWT membelahnya di dalam tanah (yang lembab), kemudian dari biji-bijian tersebut tumbuhlah berbagai jenis tumbuh-tumbuhan, salah satunya tanaman jarak pagar. Dengan kekuasaan-Nya, Allah SWT menghidupkan benih jarak pagar dengan beberapa proses. Pertama, biji ditanam setelah beberapa hari muncul *radicle* (akar) dari kulit biji kemudian diikuti oleh munculnya *plumule* (calon daun), kedua epikotil tumbuh memanjang serta membengkok dan menekan kotiledon terangkat ke permukaan atas tanah. Kotiledon yang telah disinari matahari tersebut adakalanya berubah menjadi hijau dan beberapa waktu akan melakukan proses fotosintesis (Kamil, 1979).

Firman *فالق الحب والنوى* “Allah SWT menumbuhkan butir tumbuh-tumbuhan dan biji buah-buahan.” Ditafsirkan dengan firman-Nya sebagai berikut

يخرج احي من الميت ومخرج الميت من الحي “Dia mengeluarkan yang hidup dari yang mati dan mengeluarkan yang mati dari yang hidup” maksudnya, Allah SWT menumbuhkan tumbuh-tumbuhan yang hidup dari biji dan benih yang merupakan benda mati. Proses perkecambahan benih merupakan suatu rangkaian kompleks dari perubahan-perubahan morfologis, fisiologis dan biokimia. Tahap pertama suatu perkecambahan benih dimulai dengan proses penyerapan air oleh benih, melunakkan kulit benih dan hidrasi dari protoplasma. Tahap kedua dimulai dengan kegiatan-kegiatan sel dan enzim-enzim serta naiknya tingkat benih, tahap ketiga merupakan tahap dimana terjadi penguraian bahan-bahan seperti karbohidrat, lemak, dan protein menjadi bentuk-bentuk yang melarut dan

ditranslokasikan ke titik-titik tumbuh. Tahap keempat adalah asimilasi dari bahan-bahan yang telah diuraikan di meristematik untuk menghasilkan energi untuk pembentukan komponen dan pertumbuhan sel-sel baru. Tahap kelima adalah pertumbuhan dari kecambah melalui proses pembelahan, pembesaran dan pembagian sel-sel pada titik tumbuh (Sutopo, 2004).

Penyerapan air merupakan proses yang pertama sekali terjadi pada perkembangan benih, diikuti dengan pelunakan kulit benih, dan pengembangan benih (*sweling of the seed*). Penyerapan air ini dilakukan oleh kulit biji (*seed coat*), melalui peristiwa imbibisi dan osmosis. Proses ini tidak memerlukan energi. Penyerapan air oleh embrio dan endosperma menyebabkan pembengkakan kedua struktur tersebut, mendesak kulit benih yang lunak sampai pecah dan memberikan ruang untuk keluar akar (Kamil, 1979)

Penurunan kadar air (saat benih dikeringkan) dan rehidrasi benih cukup memberikan tekanan pada komponen sel-sel. Pada benih yang viabilitasnya rendah, ketika benih berimbibisi ada kebocoran zat telarut keluar sel yang menunjukkan perubahan permeabilitas membran sel. Organ seperti mitokondria rusak dan berkurang jumlahnya bahkan DNA juga mengalami kerusakan, sehingga diperlukan pemberian enzim dan senyawa tertentu untuk mengantisipasi, membatasi dan memperbaiki kerusakan sel (Nonogaki *et al.* 2010 dalam Cempaka 2011).

Perkembangan perkecambahan terkait dengan proses penyerapan air yang diawali dengan imbibisi hingga benih berkecambah dibagi dalam tiga tahap. Tahap I, diawali dengan imbibisi hingga benih sampai semua matriks dan isi sel

terhidrasi. Tahap II adalah periode serapan air yang terbatas dan telah terjadi pertumbuhan awal kecambah, serta tahap III terjadi peningkatan penyerapan air yang berkaitan dengan penyelesaian perkecambahan (Nonogaki *et al dalam* Cempaka 2011).

Pada umumnya cadangan makanan disimpan dalam benih dalam bentuk pati, hemiselulosa, lemak dan protein yang tidak larut di dalam air (*water insoluble*) atau berupa senyawa koloid. Cadangan makanan ini umumnya terdapat di dalam endosperm (pada monokotil) dan di dalam kotiledon (pada dikotil), merupakan senyawa kompleks bermolekul besar dan tidak bisa diangkut (*immobile*) ke daerah yang memerlukan yaitu poros embrio (*embryonic axis*). Sebagian kecil cadangan makanan ini juga terdapat di poros embrio, tetapi segera habis pada awal perkecambahan benih. Cadangan makanan dalam jaringan penyimpanan (*storage tissue*) tidak bisa diangkut dari sel-sel yang lain dan dipakai untuk pembentukan protoplasma serta dinding sel sebelum zat-zat tersebut diubah menjadi zat atau senyawa yang lebih sederhana, bermolekul lebih kecil, larut dalam air dan dapat melakukan difusi (Kamil, 1979).

Benih yang mengalami penurunan kadar air, aktivitas enzimnya akan berkurang, akibat terjadinya perombakan enzim yang selanjutnya akan menghambat atau menyebabkan benih kehilangan kemampuan untuk berkecambah. Salisbury & Ross (1995) mengemukakan bahwa, segera setelah benih berkecambah, sistem akar dan tajuk muda mulai menggunakan hara mineral, lemak pati dan protein yang terdapat di sel penyimpanan pada benih. Kecambah muda bergantung pada cadangan makanan ini sebelum mampu

menyerap garam mineral dari tanah dan sebelum dapat memanjangkan sistem tajuknya menuju cahaya. Kecambah menghadapi kesulitan dengan lemak, polisakarida dan protein sebab molekul tersebut tidak dapat dipindahkan.

Proses terjadinya pemecahan zat atau senyawa bermolekul kompleks, menjadi senyawa sederhana yang larut dalam air dan dapat diangkut melalui membran serta dinding sel, membutuhkan agen pencerna (*digestive agents*) yaitu enzim. Setelah penyerapan air, terjadi aktivasi termasuk aktivasi enzim, kemudian menguraikan cadangan makanan berupa endosperm menjadi senyawa yang larut air. Endosperm cair kemudian ditransfer ke bagian embrio yang sedang berkembang sehingga terjadi pertumbuhan plumula dan radikula yang menandai terjadinya perkecambahan (Kamil, 1979). Salah satu enzim yang diperlukan dalam proses pencernaan ini adalah α -amilase yang menghidrolisis pati (Salisbury & Ross, 1995).

2.5.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Perkecambahan

Faktor-faktor yang mempengaruhi perkecambahan dibedakan menjadi dua yaitu sebagai berikut (Sutopo, 2004):

a. Faktor Dalam (Faktor Internal)

Faktor dalam yang mempengaruhi perkecambahan benih antara lain tingkat kemasakan benih, ukuran benih dan dormansi.

Tingkat kemasakan benih yang dipanen sebelum tingkat kemasakan fisiologisnya tercapai tidak mempunyai viabilitas yang tinggi karena belum mempunyai cadangan makanan yang cukup serta pembentukan embrio belum

sempurna (Sutopo, 2002). Pada umumnya sewaktu kadar air biji menurun dengan cepat sekitar 20 %, maka benih tersebut juga telah mencapai masak fisiologisnya atau masak fungsional dan pada saat itu benih mencapai berat kering maksimum, daya tumbuh maksimum (vigor) dan daya kecambah maksimum (viabilitas) atau dengan kata lain benih mempunyai mutu tertinggi (Kamil, 1979). Cadangan makanan pada endosperm yang belum masak masih belum tersedia bagi pertumbuhan embrio dibandingkan pada endosperm yang masak.

Ukuran benih yang besar dan berat mengandung cadangan makanan yang lebih banyak dibandingkan dengan ukuran benih yang kecil pada jenis yang sama. Cadangan makanan yang terkandung dalam jaringan penyimpanan digunakan sebagai sumber energi bagi embrio pada saat perkecambahan (Sutopo, 2002). Di dalam benih terdapat protein, karbohidrat, lemak dan mineral yang digunakan sebagai bahan baku dan energi untuk perkecambahan benih. Ukuran benih menentukan cadangan makanan yang digunakan untuk pertumbuhan perkecambahan, makin besar ukuran benih makin besar pula proteinnya.

Faktor selanjutnya adalah dormansi, benih dikatakan dormansi apabila benih tersebut sebenarnya hidup tetapi tidak berkecambah walaupun diletakkan pada keadaan yang secara umum dianggap telah memenuhi persyaratan bagi suatu perkecambahan atau juga dapat dikatakan dormansi benih menunjukkan suatu keadaan dimana benih-benih sehat (viabel) namun gagal berkecambah ketika berada dalam kondisi yang secara umum normal (Sutopo, 2002). Benih yang dikecambahkan tidak dapat berkecambah meski lingkungan mendukung untuk

terjadinya perkecambahan. Benih akan berkecambah jika diberi rangsangan secara fisik, mekanis maupun biologis.

b. Faktor Luar

Faktor luar utama yang mempengaruhi perkecambahan diantaranya: air, suhu, oksigen, cahaya dan media perkecambahan.

Penyerapan air oleh benih dipengaruhi oleh sifat benih itu sendiri terutama kulit pelindung dan jumlah air yang tersedia pada media disekitarnya, sedangkan jumlah air yang diperlukan bervariasi tergantung kepada jenis benih. Tingkat pengambilan air juga dipengaruhi oleh suhu (Sutopo, 2002). Benih tanaman mempunyai kemampuan berkecambah pada kisaran air yang cukup selama imbibisi, dan air tersebut dapat mencapai embrio serta endosperm.

Suhu merupakan syarat penting kedua bagi perkecambahan biji. Tetapi tidak bersifat mutlak sebagaimana kebutuhan air (Sutupo, 2002). Suhu optimum bagi kebanyakan benih adalah 48-63°C. Suhu ini berkaitan dengan kerja enzim yang mempunyai suhu optimum, yaitu ketika enzim tersebut dapat bekerja dengan baik. Semakin jauh dari suhu optimum, kerja enzim semakin tidak baik. Sehubungan dengan pengaruh suhu terhadap aktivitas enzim, semakin meningkat suhu aktivasi enzim akan semakin meningkat. Pada pemanasan tinggi, enzim yang merupakan suatu protein akan mengalami denaturasi sehingga aktivitas kerjanya menjadi nol.

Oksigen berkaitan dengan proses respirasi, saat berlangsungnya perkecambahan, proses respirasi akan meningkat disertai dengan meningkatnya pengambilan oksigen dan pelepasan CO₂, air dan energi panas. Terbatasnya

oksigen yang dapat dipakai akan menghambat proses perkecambahan benih (Sutopo,2002). Oksigen diperlukan untuk sintesis dan degradasi. Hasil dagradasi gula akan berupa energi.

Cahaya diperlukan saat proses perkecambahan, ada benih yang membutuhkan cahaya, terutama benih yang memiliki pigmen pada kulit benihnya, karena pigmen akan berfungsi sebagai fotosel yang dapat mengubah cahaya matahari menjadi energi (Suen, 2005). Hubungan antara pengaruh cahaya dan perkecambahan benih dikontrol oleh pigmen yang disebut phytochrome. Phytochrome memiliki dua bentuk yang sifatnya bolak-balik yaitu: phytochrome merah yang mengabsorpsi sinar infra merah. Bila pada benih yang sedang berimbibisi diberikan cahaya merah maka akan menyebabkan phytochrome merah menjadi phytochrome infra merah, yang turut berperan menimbulkan reaksi perkecambahan (Sutopo, 2002).

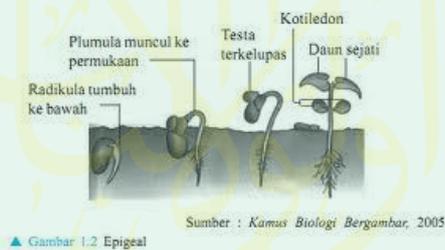
Media perkecambahan yang baik untuk perkecambahan benih haruslah mempunyai sifat fisik yang baik, gembur, mempunyai kemampuan menyimpan air dan bebas dari organisme penyebab penyakit terutama cendawan (Sutopo, 2004). Kondisi fisik media mempengaruhi proses perkecambahan, karena jika kondisi fisik padat maka benih akan berusaha keras untuk menembus ke permukaan tanah sebaliknya jika kondisi fisik gembur benih mudah menembus permukaan tanah.

2.5.3 Tipe Perkecambahan

Tipe perkecambahan menurut Suena (2005) dibedakan menjadi dua yaitu sebagai berikut:

a. Perkecambahan di atas tanah (epigeal)

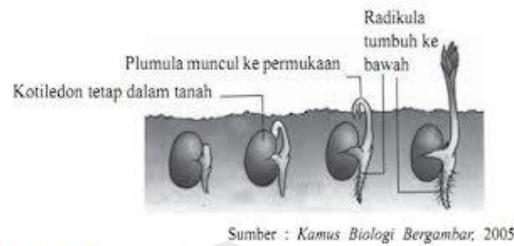
Perkecambahan yang terjadi karena panjang hypokotil dan daun lembaga (cotyledon) terangkat ke atas, muncul di atas permukaan tanah. Munculnya radikel diikuti dengan memanjangnya hipokotil secara keseluruhan dan membawa kotiledon ke permukaan tanah, jarak pagar (*Jatropha curcas* L.) termasuk tipe perkecambahan epigeal seperti yang terlihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.2 Perkecambahan Epigeal (Aryulina, 2000)

b. Perkecambahan di bawah tanah (hypogeal)

Perkecambahan yang terjadi bila daun lembaga (endosperm/cotyledon) tinggal di dalam kulit biji, dan tetap di dalam tanah, epycotyls memanjang. Munculnya radikel diikuti pemanjangan plumula, hipokotil tidak memanjang ke atas permukaan tanah dan kotiledon tetap berada di bawah permukaan tanah seperti yang terlihat pada gambar di bawah:



▲ Gambar 1.3 Hipogeal

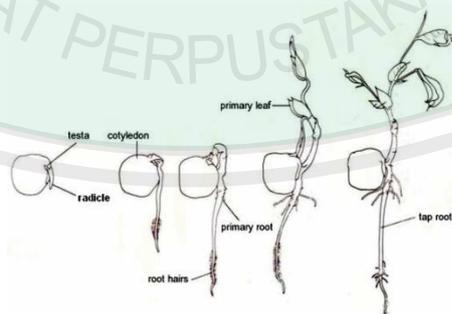
Gambar 2.3 Perkecambahan hipogeal
(Aryulina, 2005)

2.5.4 Kriteria Kecambah

Kriteri kecambah menurut Sutopo (1985) adalah sebagai berikut:

a. Kecambah normal kuat adalah kecambah yang memperlihatkan kemampuan berkembang terus hingga menjadi tanaman normal jika ditumbuhkan dalam kondisi optimum.

Perakaran berkembang baik dan diikuti akar primer tumbuh panjang dan ada akar sekunder, hipokotil panjangnya minimum empat kali panjang kotiledon dan tumbuh baik tanpa ada kerusakan. Kotiledon ada dua buah dan tidak ada kerusakan. Seperti terlihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.4 Kecambah Normal kuat
(Anonymous, 2013)

b. Kecambah normal lemah adalah kecambah yang memperlihatkan kemampuan berkembang terus hingga menjadi tanaman normal jika ditumbuhkan

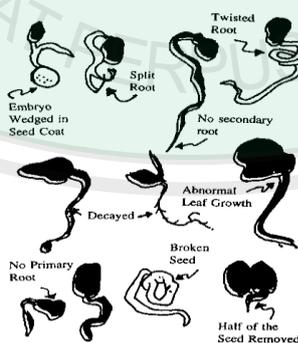
dalam kondisi optimum, perakaran berkembang baik dan akar primer tumbuh panjang dan atau tidak ada akar sekunder.

Tidak ada akar primer tetapi ada akar sekunder dan tumbuh kuat. Hipokotil panjangnya empat kali panjang kotiledon dan tumbuh baik, ada kerusakan tetapi tidak sampai ke jaringan pengangkut, seperti gambar 2.5 di bawah ini:



Gambar 2.5 Kecambah Normal Lemah (Dokumen pribadi)

c. Kecambah Abnormal adalah kecambah mempunyai ciri tumbuh tidak mempunyai akar primer atau akar primer pendek tanpa ada akar sekunder. Hipokotil membengkok atau pendek. Kotiledon busuk atau tidak ada. Seperti terlihat pada gambar 2.6 di bawah ini:



Gambar 2.6 Kecambah Abnormal (Anonymous, 2005)

2.6 Pengaruh Perlakuan Invigorasi terhadap Peningkatan Vigor Benih

Invigorasi benih adalah memperbaiki keadaan fisiologis benih dan biokimia benih melalui perbaikan metabolik, kemunduran waktu dan potensi untuk berkecambah (Khan,1992). Rusmin (2004) menyatakan bahwa invigorasi adalah salah satu alternatif untuk mengatasi kemunduran mutu benih dengan cara memperlakukan benih sebelum ditanam. Perlakuan invigorasi benih sebelum ditanam seperti hidrasi pada sejumlah benih dapat mempercepat pemunculan radikula, meningkatkan persentase perkecambahan dan laju pertumbuhan memperbaiki mutu benih yang mengalami kemunduran diakibatkan saat penyimpanan maupun pemanenan.

Perlakuan benih secara fisiologis untuk memperbaiki perkecambahan melalui imbibisi air secara terkontrol telah menjadi dasar dalam invigorasi benih. Saat ini perlakuan invigorasi merupakan salah satu alternatif yang dapat digunakan untuk mengatasi mutu benih yang rendah yaitu dengan cara memperlakukan benih sebelum tanam untuk mengaktifkan kegiatan metabolisme benih sehingga benih siap memasuki fase perkecambahan. Selama proses invigorasi, terjadi peningkatan kecepatan dan keserempakan perkecambahan serta mengurangi tekanan lingkungan yang kurang menguntungkan. Invigorasi dimulai saat benih berhidrasi pada medium imbibisi yang berpotensi air rendah. Biasanya dilakukan pada suhu 15-20°C. Setelah keseimbangan air tercapai selanjutnya kandungan air dalam benih dipertahankan (Khan, 1992). Perlakuan invigorasi antara lain dapat dilakukan dengan cara yaitu *osmoconditioning*.

2.6.1 Osmoconditioning

Osmoconditioning merupakan perbaikan fisiologis dan biokimia dalam benih selama penundaan perkecambahan oleh potensial osmotik rendah dan potensial matrik yang diabaikan dari media imbibisi. Perbaikan berhubungan dengan kecepatan dan keserempakan perkecambahan serta perbaikan dan peningkatan potensial perkecambahan (Bradford dalam Rusmin 2004). Rusmin (2004) menambahkan bahwa *osmoconditioning* dimulai pada saat benih diimbibisi dalam pelarut dengan potensial air rendah dan kandungan air dapat ditahan setelah mencapai keseimbangan.

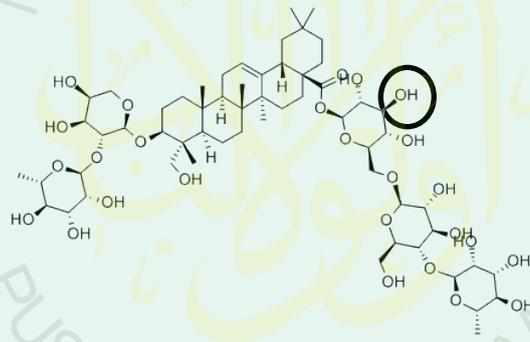
2.7 Penggunaan Polietilena Glikol (PEG) 6000 untuk Invigorasi Benih

Polietilena glikol (PEG) adalah senyawa polimer non ionik hidrofilik yang banyak digunakan pada industri dan biokimia. PEG mempunyai karakter non toksik sehingga digunakan pula pada kosmetik, makanan, dan produk obat-obatan (Sa'diyah 2009). Sekilas polimer yang diketahui sebagai polietilena atau PEG ini merupakan molekul sederhana. PEG adalah molekul yang sangat linier dan bercabang, polieter netral, larut dalam air dan larutan organik. Molekul ini banyak diminati dalam bioteknik dan biomedika (Haris dalam Rachmawati 2010).

PEG adalah suatu senyawa yang larut dalam air, bisa masuk dalam sel, dan digunakan dalam perlakuan invigorasi. Perlakuan invigorasi dengan PEG dapat membantu mempercepat proses imbibisi karena senyawa ini mampu mengikat air. Fungsi air dalam perkecambahan adalah untuk aktivasi enzim, melunakkan kulit biji, memberikan fasilitas masuknya oksigen, mengaktifkan fungsi protoplasma

dan sebagai alat transport makanan dari endosperm ke kotiledon. Lakitan (1996) menyatakan bahwa proses perkecambahan juga diawali dengan kegiatan enzim untuk menguraikan cadangan makanan seperti karbohidrat, protein dan lemak.

Sifat PEG sangat efektif di lingkungan yang berair. Sifat ini diartikan sebagai penolakan protein, pembentukan dua fase sistem polimer yang berbeda. Selain itu, polimer tidak bersifat racun dan tidak membahayakan protein aktif atau sel walaupun polimer sendiri berinteraksi dengan membran sel. Hal ini tergantung pada penyiapan modifikasinya secara kimia dan keterikatannya pada molekul lain dan permukaan. Ketika melekat pada molekul polimer lainnya memiliki pengaruh pada sifat kimia dan kelarutan molekul tersebut (Roehati, 2003).



Gambar 2.7 Struktur Polietilena Glikol (Roehati, 2003)

Keterangan gambar:

OH akan berikatan dengan H_2O ketika imbibisi dan akan membentuk ikatan hidrogen untuk membantu mengikat air.

Beberapa kelebihan dari PEG yaitu mempunyai sifat dalam proses penyerapan air sebagai *selective agent* (pembawa materi air) diantaranya tidak toksik terhadap tanaman, larut dalam air, dan telah digunakan untuk mengetahui pengaruh kelembaban terhadap perkecambahan biji tanaman budi daya, bisa masuk ke dalam sel (intraselular) dan juga dapat digunakan sebagai osmotikum pada jaringan, sel ataupun organ (Plaut dkk, 1985).

PEG mempunyai peran dalam membantu imbibisi air oleh benih. Selama penyimpanan benih ortodoks sangat dipengaruhi oleh kadar air, ketika kadar air benih terlalu rendah akan menyebabkan benih menjadi keras sehingga pada waktu dikecambahkan benih tidak dapat berimbibisi. Perlakuan invigorasi dengan PEG dapat membantu mempercepat proses imbibisi karena senyawa PEG mampu mengikat air. Pengikatan air ini terjadi ketika molekul H₂O berikatan dengan molekul OH melalui ikatan hidrogen (Gambar 2.7). Keunggulan ikatan hidrogen yaitu ikatan tersebut terbentuk, terpisah, dan terbentuk kembali dengan sangat cepat. Sehingga senyawa PEG akan memberikan air kedalam benih kemudian ikatan antara PEG putus sehingga senyawa PEG tidak ikut bereaksi hanya membantu pengikatan air kedalam benih. Kemampuan PEG dalam mengikat air ini akan digunakan untuk imbibisi.

Ikatan hidrogen terjadi apabila atom hidrogen yang secara kovalen terikat pada suatu atom yang elektronegatif juga tertarik kearah atom elektronegatif lainnya. Ikatan-ikatan yang terbentuk, terpisah, dan terbentuk kembali dengan sangat cepat. Tiap ikatan hidrogen hanya mampu bertahan beberapa pikodetik(per triliun detik), tetapi molekul-molekulnya secara terus-terus menerus membentuk ikatan baru dengan pasangan penggantinya. Oleh karena itu, dalam jumlah singkat, sejumlah tertentu dari seluruh molekul air akan berikatan dengan molekul terdekatnya (*Polietilena glikol*). Secara keseluruhan ikatan hidrogen menyatukan substansi tersebut (Campbell,2002).

Kemampuan PEG dalam mengikat air ini akan digunakan untuk imbibisi. Menurut Tjitrosomo (2010), proses awal perkecambahan adalah proses imbibisi

yaitu masuknya air ke dalam benih sehingga kadar air dalam benih mencapai persentase tertentu. Dengan adanya air, kulit luar benih akan pecah karena adanya proses imbibisi. Setelah terjadi proses tersebut sel-sel pertumbuhan yang ada didalam benih akan membelah dan mengalami berbagai reaksi biokimia yang akhirnya benih akan berkembang menjadi tumbuhan.

Senyawa PEG dengan berat molekul 6000 dipilih karena PEG 6000 ini dapat lebih banyak mengikat air apabila dibandingkan dengan molekul yang lebih rendah. Kemampuan larutan PEG dalam mengikat air bergantung pada berat molekul dan konsentrasinya. Semakin panjang rantai PEG maka semakin banyak air yang akan diikat. Senyawa PEG mampu mengikat air dan menyebabkan penurunan sifat potensial air. Potensial air dalam media yang mengandung PEG dapat digunakan untuk meniru besarnya potensial air tanah. PEG 6000 memiliki sifat sebagai polimer yang non-ionik dapat berikatan dengan molekul air melalui dua ikatan: ikatan hidrogen dan ikatan van der Waals (menurunkan nilai potensial air).

Berdasarkan sifat fisik dan berat molekulnya PEG tersedia dalam berbagai formulasi tetapi yang paling umum digunakan dalam penelitian fisiologi tanaman ialah PEG 6000. PEG bersifat mempertahankan potensial osmotik yang dapat digunakan untuk membatasi perubahan kadar air dan O_2 pada medium perkecambahan atau penyimpanan sehingga molekul PEG yang berada di luar membran sel benih akan membentuk lapisan tipis yang melindungi benih dan berfungsi sebagai penyangga kadar air benih dan keluar masuknya oksigen (Ghassemi, 2008).

Selanjutnya Rusmin dan Sukarman (2001) telah melakukan penelitian tentang invigorasi pada benih jambu mete yang telah disimpan sampai 10 bulan penyimpanan. Pada benih jambu mete yang telah mengalami penyimpanan mulai dari 6 sampai 10 bulan, ternyata pelembaban dalam larutan PEG telah memberikan pengaruh terhadap daya berkecambah benih. Setelah disimpan selama 10 bulan pelembaban dalam larutan PEG 10% ternyata dapat meningkatkan daya berkecambah. Meningkatnya daya berkecambah benih jambu mete yang telah turun viabilitasnya selama penyimpanan, dengan perlakuan invigorasi dengan PEG 10 %, dikarenakan pada proses imbibisi pada perlakuan tersebut air masuk secara teratur dan terkontrol sehingga mampu memperbaiki sistem sel dalam benih, meningkatkan aktivitas mitokondria, sehingga mampu meningkatkan daya berkecambah benih. PEG bekerja secara optimal dengan mempercepat proses masuknya air ke dalam benih.

Sutopo (2002) menambahkan bahwa air memegang peranan penting dalam proses perkecambahan biji. Masuknya air ke dalam benih dengan peristiwa difusi dan osmosis. Fungsi air dalam perkecambahan adalah untuk aktivasi enzim, melunakkan kulit biji, memberikan fasilitas masuknya oksigen, mengaktifkan fungsi protoplasma dan sebagai alat transport makanan dari endosperm ke kotiledon. Lakitan (1996), menyatakan bahwa proses perkecambahan juga diawali dengan kegiatan enzim untuk menguraikan cadangan makanan seperti karbohidrat, protein dan lemak.

Beberapa kelebihan dari PEG yaitu mempunyai sifat dalam proses penyerapan air, sebagai selective agent diantaranya tidak toksik terhadap tanaman,

larut dalam air, dan telah digunakan untuk mengetahui pengaruh kelembaban terhadap perkecambahan biji tanaman budi daya, bisa masuk ke dalam sel (intraseluler) dan juga dapat digunakan sebagai osmotikum pada jaringan, sel ataupun organ (Ghassemi,2008).

2.8 Invigorasi dalam Pandangan Islam

Manusia diciptakan Allah sebagai kholifah di muka bumi ini dan dianjurkan untuk melestarikan bumi. Invigorasi merupakan suatu cara untuk meningkatkan mutu viabilitas benih yang rendah dengan perlakuan fisik atau kimia untuk memperbaiki vigor benih yang mengalami kemunduran. Dengan cara meningkatkan perkecambahan maka manusia telah menjalankan tugasnya sebagai kholifah yaitu melestarikan tumbuhan sehingga tidak merusak kemakmuran yang ada di bumi. Sesuai firman Allah dalam QS. Al-A'raf/7 : 56.

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ ﴿٥٦﴾

Artinya: “Dan janganlah kamu membuat kerusakan di muka bumi, sesudah (Allah) memperbaikinya dan berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut (Tidak akan diterima) dan harapan (akan dikabulkan). Sesungguhnya rahmat Allah amat dekat kepada orang-orang yang berbuat baik” (QS. Al-A'raf/7 :56).

Firman Allah SWT, *وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا* Dan janganlah kamu membuat kerusakan di muka bumi dalam ayat ini dibahas satu masalah yaitu Allah melarang melakukan segala kerusakan, baik sedikit maupun banyak, setelah melakukan perbaikan, baik sedikit maupun banyak.

Ayat di atas menjelaskan bahwa Allah SWT melarang segala bentuk kerusakan di muka bumi ini seperti meniadakan dan mencemari. Sesungguhnya Allah menciptakan bumi ini dalam keadaan seimbang, maka dari itu salah satu untuk menjaga sumber hayati di alam adalah menggunakan cara invigorasi.

Firman *أن رحمت الله قريب من المحسنين* berbuat baik dalam ayat ini adalah diperintahkan untuk melakukan penghijauan dan mengadakan penghijauan untuk menjaga kelestarian, keanekaragaman jenis flora dan mencegah erosi. Menjaga lingkungan bukan hanya untuk dirinya, bahkan Allah SWT menugaskan kita sebagai khalifah, sebagai wakil Allah di muka bumi. Menjaga alam agar kehidupan bisa terus dinikmati oleh generasi selanjutnya. Generasi yang akan datang tidak akan mungkin bisa menikmati kehidupan, bila generasi yang sekarang lupa dengan tugas ini. Tak hanya itu, Allah juga dengan tegas melarang manusia untuk membuat kerusakan di bumi, sebagaimana firman Allah dalam QS. Al Qhashash/ 28:77 yang berbunyi:

وَأَتَّبِعْ فِي مَآءِ آتَنَّاكَ اللَّهُ الدَّارَ الْآخِرَةَ ۗ وَلَا تَنْسَ نَصِيبَكَ مِنَ الدُّنْيَا ۗ وَأَحْسِنَ كَمَا
أَحْسَنَ اللَّهُ إِلَيْكَ ۗ وَلَا تَتَّبِعِ الْفَسَادَ فِي الْأَرْضِ ۗ إِنَّ اللَّهَ لَا يُحِبُّ الْمُفْسِدِينَ ﴿٧٧﴾

Artinya: “Dan carilah pada apa yang telah dianugerahkan Allah kepadamu (kebahagiaan) negeriakhirat, dan janganlah kamu melupakan bahagiamu dari (kenikmatan) duniawi an berbuat baiklah (kepada orang lain) sebagaimana Allah telah berbuat baik kepadamu, dan janganlah kamu berbuat kerusakan di (muka) bumi. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang-orang yang berbuat kerusakan”(QS. Al Qhashash/ 28:77).

Pada ayat ini sangat ditegaskan kita harus berbuat baik sebagaimana Allah telah berbuat baik kepada kita. Bisa kita lihat, Allah telah ihsan-Nya

menciptakan alam ini. Ketika Allah menciptakan bumi dan seisinya, juga ada potensi-potensi untuk gempa bumi, tsunami, angin ribut, patahan lempeng bumi yang bisa bergerak dan bertemu. Allah SWT menciptakan bumi, langit dan gunung bisa bergerak, tetapi itu semua sesungguhnya dihadirkan bukan untuk mengazab manusia, tapi untuk mengingatkan jangan sampai bumi dan seisinya ini dirusak. Kalau tidak dirusak, bumi dan lainnya tidak akan menyengsarakan manusia.

