II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tanaman Kedelai

2.1.1. Deskripsi Tanaman Kedelai

Setelah jagung dan padi, kedelai (Glycine max (L.) Merrill) merupakan salah satu tanaman pangan terpenting (Stefia, 2017). Menurut Fatimah dan Saputro (2016), kedelai saat ini digunakan sebagai bahan baku baik pada sektor pangan maupun non pangan. Kacang-kacangan tropis, atau kedelai, dapat beradaptasi pada berbagai jenis tanah dan iklim. Tanaman kedelai tumbuh subur pada suhu antara 20 hingga 30 derajat Celcius (Logo et al., 2017). Menurut Ade dan Krisnawati (2007), kedelai mempunyai umur tanam 72 sampai 90 hari dan dipanen setiap tahun. Fase vegetatif dan reproduksi perkembangan kedelai berbeda satu sama lain. Menurut Khadijah (2017), tahap pembungaan dimulai pada saat tanaman berkecambah dan berlanjut hingga benih siap, sedangkan tahap vegetatif dimulai pada saat tanaman tumbuh dan diakhiri dengan benih berada di dalam tanah. Biasanya tumbuh setinggi 40–90 cm dan memiliki beberapa cabang, tanaman kedelai tegak. Ade dan Krisnawati (2007) menyatakan bahwa tanaman ini berbulu dan mempunyai satu atau tiga helai daun. Bunga berwarna putih, merah jambu, atau ungu muncul pada batang utama tanaman kedelai. Dengan daun yang menguning dan rontok, biji kedelai siap dipetik ketika sudah mencapai kematangan fisiologis, yang terjadi jika biji sudah keras, minimal 95% berwarna kuning krem (Logo *et al*, 2017).

Gambar 1 : Tanaman Kedelai
Sumber : Adisarwanto, 2005

Berikut adalah klasifikasi ilmiah tanaman kedelai menurut United States Department of Agriculture (2016) :

Kingdom : Plantae - Plants

Subkingdom : Tracheobionta - Vascular plant

Superdivision : Spermatophyta - Seed plant

Division : Magnoliophyta - Flowering plants

Class : Magnoliopsida - Dicotyledons

Subclass : Rosidae

Order : Fabales

Family : Fabaceae / Leguminosae – Pea family

Genus : Glycine Willd - soybean

Spesies : *Glycine max* (L.) Merr. - soybean

a. Akar Tanaman Kedelai

Ketika misofil terbelah, akar tanaman kedelai mulai terlihat. Ketika kotiledon yang terdiri dari dua bagian tumbuh dengan cepat, mereka akan terdorong ke permukaan tanah, sehingga akar potensial dapat berkembang ke dalam tanah (Arifin dkk, 2020). Akar tunggang, beberapa akar sekunder yang tersusun dalam empat baris di sepanjang akar tunggang, cabang-cabang dari akar sekunder, dan cabang-cabang tambahan yang berasal dari pangkal hipokotil membentuk sistem perakaran tanaman kedelai. Meskipun akar tunggang memiliki kedalaman maksimal 200 cm, namun hanya dengan sekali tanam saja bisa mencapai 250 cm. Sejumlah variabel antara lain kekerasan tanah, populasi tanaman, varietas, dan lain sebagainya mempengaruhi panjang akar tunggang. (Adie dan Krisnawati, 2007).

Dalam keadaan aerob, akar tanaman kedelai dapat terinfeksi oleh sekelompok bakteri yang disebut Rhizobium japonicum, yang dapat ditemukan pada bintil akar di dekat pangkal batang dan di sisi akar. (Purwaningsih dan Kusumastuti, 2019). Bintil akar pertama terlihat sepuluh hari setelah tanam (Adie dan Krisnawati, 2007). Bakteri tersebut bersimbiosis secara mutualis dengan kedelai (Purwaningsih dan Kusumastuti, 2019). Bakteri Rhizobium japonicum pengikat nitrogen baik untuk

tanaman kedelai. Beberapa senyawa yang dilepaskan oleh akar, terutama triptofan, mendorong pertumbuhan bakteri dan mikroorganisme lain di tanah sekitar akar. Setelah empat minggu terinfeksi bakteri, bintil akar tidak akan tumbuh lagi. Dipercaya bahwa bintil akar berwarna hijau bukanlah pengikat nitrogen aktif, namun rona merah jambu yang khas dihasilkan oleh adanya leghemoglobin, yang terdapat pada bintil akar dewasa. Bintil akar akan lapuk pada minggu ke enam hingga minggu ke tujuh (Adie dan Krisnawati, 2007).

Gambar 2 : Akar Tanaman Kedelai
Sumber : Adisarwanto, 2005

b. Batang dan Cabang Tanaman Kedelai

Batang tanaman kedelai berbentuk bulat, berwarna hijau, dan seringkali berbulu atau ditutupi berbagai struktur rambut; juga tidak berkayu dan menyerupai batang perdu (Hanafi, 2019). Batang tanaman kedelai bisa mencapai tinggi 30–100 cm. Tiga hingga enam cabang dapat tumbuh dari satu batang (Waliyansyah, 2020). Tanaman kedelai yang tingginya mencapai 20 cm mulai bercabang. Jumlah cabang yang dimiliki suatu tumbuhan sebanding dengan spesies dan kepadatan populasinya. Pertumbuhan cabang terhambat atau tidak ada sama sekali pada tanaman yang padat. (Hanafi, 2019).

Batang tanaman kedelai dapat dikelompokkan menjadi tiga varietas berdasarkan pola perkembangannya: tak tentu, tegak, dan semi determinan (Linonia, 2014). Ada tidaknya mekarnya bunga di ujung batang menentukan jenis perkembangan batang. Ketika kedelai mengalami perkembangan batang tertentu, mereka berhenti menghasilkan batang baru setelah tanaman mulai berbunga. Bahkan ketika tanaman mulai berbunga, bagian atas batangnya mungkin masih mengeluarkan daun, yang menunjukkan bentuk pertumbuhan batang yang tidak menentu (Alnapi, 2015). Menurut Purwaningsih dan Kusumastuti (2019), batang

kedelai semi determinit menunjukkan ciri-ciri yang sama dengan dua varietas lainnya. Terdapat jarak antara dua hingga sembilan sentimeter antara masing-masing lima belas atau dua puluh buku yang terdapat pada batang kedelai. Batang kedelai akan mengembangkan lebih banyak buku seiring dengan bertambahnya usia tanaman. (Septian, 2019).

Gambar 3 : Batang Tanaman Kedelai
Sumber : Adisarwanto, 2005

c. Daun Tanaman Kedelai

Dua jenis daun yang paling umum pada tanaman kedelai adalah tahap kotiledon dan tahap trifoliate. Berdaun dua dan tiga tangkai (daun trifoliate) menjadi ciri tahap perkembangan tanaman kotiledon, yang dimulai sejak tanaman masih bertunas (Kementerian Perdagangan, 2011). Tersedia daun kedelai runcing (lanset) dan bulat (oval). Variabel keturunan mempengaruhi morfologi daun kedelai. Rasio stomata/m2 daun kedelai adalah 190 sampai 320 (Stefia, 2017). Untuk penyerapan, respirasi, dan transpirasi, tanaman kedelai mengandalkan daunnya. (Laila, 2008).

Secara umum daun tanaman kedelai mempunyai bulu yang bervariasi dengan warna dan kepadatan yang bervariasi (Septian, 2019). Panjang dan lebar maksimum bulu pada daun kedelai berturut-turut adalah 1 mm dan 0,0025 mm. Kementerian Perdagangan (2011) mencatat bahwa setiap varietas kedelai mempunyai kepadatan atau ketebalan bulu daun yang berbeda-beda. Jenis berbulu lebat mungkin memiliki bulu tiga hingga empat kali lebih banyak dibandingkan jenis berbulu konvensional. Ketahanan kultivar kedelai terhadap serangan hama berbanding terbalik dengan ketebalan bulu daunnya (Irwan, 2006). Kepadatan rambut daun kedelai biasanya berkisar antara tiga hingga dua puluh partikel per milimeter persegi (Kementerian

Perdagangan, 2011). Daun kedelai yang dimulai dari pangkal batang akan layu dan rontok seiring bertambahnya usia tanaman (Purwaningsih dan Kusumastuti 2019). Pasokan asimilat yang berlimpah dapat dihasilkan oleh tanaman kedelai yang berdaun banyak, asalkan daunnya terkena cahaya yang cukup untuk memungkinkan terjadinya fotosintesis. (Kinasih *et al*, 2017).

Gambar 4 : Daun Tanaman Kedelai
Sumber : Budiastuti, 2000

d. Bunga Tanaman Kedelai

Bunga tanaman kedelai simetris sempurna, alat reproduksi jantan dan betina (benang sari dan putik) terdapat dalam satu bunga (Kartono, 2005). Sepuluh benang sari membentuk bunga kedelai. Pangkal benang sari yang kesembilan menyatu membentuk pelepah yang melingkari putik, sedangkan pangkal benang sari yang kesepuluh terlepas, seperti penutup pelepah. Tiga bakal biji terkandung di dalam putik bunga kedelai (Linonia, 2014). Bunga kedelai dapat melakukan penyerbukan sendiri, sehingga serbuk sari dari bunga lain dapat mencapai kepala putik (Kartono, 2005). Apabila tajuk bunga tertutup maka dapat terjadi penyerbukan (Purwaningsih dan Kusumastuti 2019). Menurut Katondo (2005), penyerbukan yang terjadi sebelum mekarnya bunga disebut penyerbukan cleistogamous atau penyerbukan tertutup. Kemungkinan terjadinya penyerbukan secara alami cukup rendah karena terjadi pada saat tajuk masih tertutup. Setengah dari bunganya akan dipetik sebelum polong terbentuk. (Logo *et al*, 2017).

Menurut Septian (2019), bunga kedelai yang mekar terlihat seperti kupu-kupu. Kelopak bunga, bracteoles, daun bendera, sayap mahkota, dan kelopak bunga sebenarnya yang menampung putik dan benang sari membentuk bunga kedelai (Afkar, 2018). Menurut Hanafi (2019), bunga kedelai memiliki lima mahkota daun,

lima bendera, dua sayap, dan dua kuncup. Pada umur sekitar lima sampai tujuh minggu, tanaman kedelai mulai berbunga (Stefia, 2017). Meskipun bunga dapat tumbuh pada cabang yang mempunyai daun, namun letak bunga kedelai yang paling umum adalah pada ketiak daun, yaitu setelah ruas kedua. Hal ini disebabkan cabang dan batang utama tanaman kedelai mempunyai bentuk yang sama (Nurhadi, 2019). Dalam kebanyakan kasus, bunga pertama muncul di sekitar buku kelima atau keenam, atau bahkan lebih tinggi pada batang. (Adisarwanto dan Wudianto, 2008).

Menurut Adisarwanto dan Wudianto (2008), jumlah bunga pada setiap ketiak batang dapat berkisar antara 2 hingga 25 buah, tergantung pada varietas dan kondisi tempat tumbuhnya. Tergantung pada jenis yang ditanam, tanaman kedelai dapat menghasilkan empat puluh hingga dua ratus bunga per tanaman (Nurhadi, 2019). Kelembaban dan suhu juga berperan dalam perkembangan mekar. Saat suhu tinggi dan kelembapan rendah, lebih banyak sinar matahari yang mencapai ketiak batang yang menahan daun. Irwan (2006) menemukan bahwa hal ini dapat mendorong perkembangan bunga. Putih dan ungu adalah dua warna mekar yang paling umum terlihat pada kultivar kedelai. (Kemenag, 2011).

a **b**

Gambar 5 : Bunga Kedelai : **a.** Warna Ungu; **b.** Warna Putih
Sumber : Putri *et al*, 2014

e. Polong dan Biji Kedelai

Tujuh sampai sepuluh hari setelah mekarnya bunga pertama, polong mulai berkembang pada tanaman kedelai (Khadijah, 2017). Sebanyak dua puluh polong dapat berkembang dalam satu kali pembungaan tanaman kedelai (Adie dan Krisnawati, 2007). Kesuburan tanah, jarak tanam, dan kultivar kedelai menentukan jumlah polong per batang (Purwaningsih dan Kumastuti, 2019). Menurut Logo dkk.

(2017), satu tanaman kedelai biasanya menghasilkan antara 100 hingga 250 polong, namun jika tanaman padat, hasilnya turun menjadi 30 polong. Laila (2008) menyatakan bahwa kedelai yang ditanam di tanah subur dapat menghasilkan 100-200 polong per pohon. Polong muda berukuran panjang sekitar 1 sentimeter. (Arifin *et al*, 2020).

Pitojo (2003) menyatakan bahwa ukuran dan bentuk polong berada pada puncaknya sesaat sebelum benih mulai matang. Polong mulai berwarna hijau ketika muda dan berkembang menjadi berbagai warna hitam, putih, atau coklat saat dewasa (Logo dkk, 2017). Warna polong ditentukan oleh beberapa faktor antara lain warna trikoma, ada tidaknya pigmen antosianin, kerotena, dan pigmen xantofil (Adie dan Krisnawati, 2007). Benih akan rontok dari polong kering saat pecah. (Linonia, 2014).

Gambar 6 : Polong Kedelai
Sumber : Adisarwanto, 2008

Menurut Stefia (2017), kedelai berubah bentuk menjadi biji di dalam polong. Menurut Ade dan Krisnawati (2007), rata-rata polong berisi 2-3 biji, namun bisa juga berisi 1 hingga 5 biji. Tidak ada jaringan endosperma pada biji kedelai; sebaliknya, benih bersifat bipartit dan ditutupi cangkang pelindung (Pitojo, 2003). Variasi warna pada biji kedelai sangat beragam, dan variasi ini paling terlihat pada membran biji dan di berbagai bagian benih. Warna biji kedelai bervariasi, mulai dari hijau pucat atau kuning hingga hitam kecoklatan, bahkan ada yang memiliki corak (Yanti, 2019). Pola warna ini melambangkan kulit biji. (Septian, 2019). Rahmawati dkk. (2017) melaporkan bahwa biji kedelai merupakan sumber protein, lemak, vitamin, dan serat yang baik. Secara keseluruhan, kedelai mengandung 330 kalori, 35 persen protein, 18 persen lemak, 35 persen karbohidrat, dan 10 persen air per 100 gramnya (Firsta dan Saputro, 2018). Mineral termasuk kalsium, fosfor, zat

besi, serta vitamin A dan B juga terdapat pada biji kedelai. (Rohmah dan Saputro, 2016).

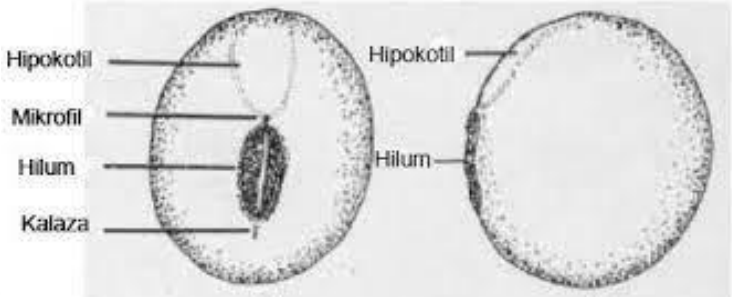
Gambar 7 : Ragam Warna Biji Kedelai : **a.** Kuning; **b.** Hijau; **c.** Hitam; **d.** Coklat; **e.** Kuning kehijauan; **f.** Hijau Kekuningan
Sumber : Putri *et al*, 2014

2.2. Benih Kedelai

Istilah "benih" digunakan untuk menggambarkan komponen tanaman yang digunakan untuk tujuan reproduksi dan/atau pengembangan tanaman (Handayani, 2017). Ovula matang yang telah dibuahi meliputi embrio dan endosperma yang terlindung oleh kulit biji (testa) dan merupakan sumber benih dari komponen generatif khususnya benih (Triani, 2021). Benih siap dipanen apabila telah masak fisiologis (Handayani, 2017). Embrio dan kulit biji merupakan dua komponen utama benih kedelai (Arifin et al., 2020). Menurut Krisnawati dan Adie (2008), khalaza, mikrofil, kulit, dan hilum membentuk struktur luar biji kedelai. Karena merupakan lapisan terluar dari benih, maka kulit (testa) berfungsi untuk melindungi embrio dari unsur-unsur ketika benih matang dan memberikan nutrisi ketika benih tumbuh. Ade dan Krisnawati (2007) mengidentifikasi tiga lapisan pada testa biji kedelai: epidermis, hipodermis, dan parenkim. Selulosa, gula, lignin, cutin, protein, pewarna, lilin, lipid, dan resin merupakan komponen penyusun kulit biji. (Adie *et al*, 2013). Warna kulit benih kedelai bermacam-macam, yaitu kuning, hitam, hijau, atau cokelat (Purwaningsih dan Kusumastuti, 2019).

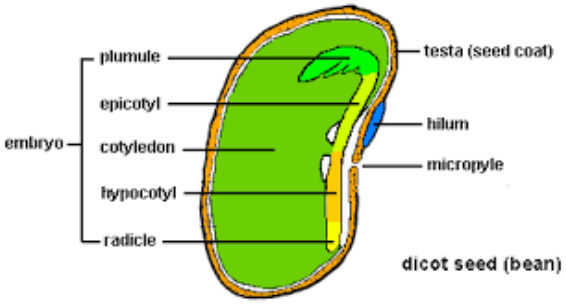
Pada testa benih kedelai terdapat bagian yang disebut pusar (hilum) (Arifin *et al*, 2020). Hilum merupakan jaringan bekas benih melekat pada dinding buah

(Alnapi, 2015). Hilum biasanya berwarna cokelat, hitam, atau putih (Arifin *et al*, 2020). Hilum tersusun dari tiga lapisan parenkim (Adie dan Krisnawati, 2007). Selama proses produksi benih, lubang kecil yang disebut mikrofil terbentuk di dekat ujung hilum. (Arifin *et al*, 2020). Khalaza merupakan alur kecil yang berada pada ujung hilum membelakangi mikrofil (Krisnawati dan Adie, 2008).



Gambar 8. Bagian Luar Benih Kedelai : **a.** Tampak Atas; **b.** Tampak Samping
Sumber : Adie dan Krisnawati, 2007

Di ruang antara bagian-bagian benih terdapat embrio (Alnapi, 2015). Embrio terdiri dari radikula hipokotil, dua kotiledon, dan bulu kecil yang memiliki dua daun dewasa (Adie dan Krisnawati, 2007). Kotiledon benih adalah organ terbesarnya. Untuk perkembangan awal tanaman, kotiledon merupakan cadangan makanan yang sangat baik karena lemak dan protein yang dibawanya (Laila, 2008). Jaringan endosperma tidak terdapat pada biji kedelai yang bersifat bipartit dan dilapisi testa (Pitojo, 2003). Benih kedelai termasuk benih konvensional menurut Indartono (2011). Menurut Sudrajat dkk. (2017), benih ortodoks yang dikeringkan mampu bertahan dalam penyimpanan suhu rendah untuk jangka waktu yang lama. Karena benih kedelai tidak mengalami masa dorman, maka benih dapat langsung ditanam setelah selesai masa tanam (Budi, 2007). Saat biji kedelai berkecambah, kotiledonnya terdorong ke atas, sehingga memungkinkan daun selanjutnya berkembang. Proses ini dikenal sebagai perkecambahan epigeal. (Indartono, 2011).



Gambar 9. Bagian Dalam Benih Kedelai
Sumber : Puspitt, 2011

Benih kedelai ada yang berbentuk bulat lonjong, bulat, dan bulat agak pipih (Hanafi, 2019). Tetapi sebagian sebagian besar benih kedelai berbentuk bulat telur (Alnapi, 2015). Benih kedelai berukuran 6-30 g/100 benih (Stefia, 2017). Ukuran benih kedelai ada yang kecil, sedang, dan besar (Hanafi, 2019). Benih kecil berukuran 7-9 g/100 benih, benih sedang berukuran 10-13 g/100 benih, dan benih besar berukuran lebih dari 13 g/100 benih (Arifin *et al*, 2020). Warna, bentuk, dan ukuran benih kedelai yang beragam tergantung pada varietasnya (Hanafi, 2019).

2.3. Penyimpanan Kedelai

Di antara beberapa tahapan dalam pengolahan benih kedelai, penyimpanan merupakan hal yang krusial (Sucahyono, 2018). Menjaga viabilitas dan potensi perkecambahan benih merupakan fungsi utama penyimpanan (Kartono, 2004). Mengawetkan bahan tanam dari satu musim ke musim berikutnya dan memastikan benih selalu tersedia merupakan dua tujuan utama pelestarian benih. Penyimpanan benih yang tepat sangat penting untuk memperpanjang masa hidup benih (Nasrullah et al., 2021). Ketika benih mencapai kematangan fisiologis, atau tahap II dalam konsep Steinbaurer, benih tersebut diawetkan sebagai upaya mempertahankan viabilitas maksimalnya selama penyimpanan (Yanti, 2019). Salah satu tujuan utama penyimpanan benih adalah untuk mengatur unsur-unsur lingkungan yang menurunkan mutu benih. (Sucahyono, 2018).

Masa penyimpanan benih dimulai pada saat tanaman mencapai kematangan fisiologis, menurut Yanti (2019). Daya simpan benih sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti waktu panen yang optimal, teknik panen, dan penanganan pasca panen. Benih tidak boleh disimpan melebihi titik ketika viabilitasnya turun

hingga 80%. Menurut Subantoro (2014), benih kacang-kacangan tidak akan mampu bertahan lebih dari tiga bulan pada suhu 30° C dengan kadar air 14%. Aspek fisiologis dan teknologi terkait penyimpanan mempengaruhi lama penyimpanan benih (Suita dan Darwo, 2015). Penanganan dan penyimpanan benih kedelai yang tepat adalah hal yang paling penting (Kartono, 2004). Benih yang dipilih adalah benih yang murni dan sehat, oleh karena itu penting untuk merawatnya dengan baik agar tidak kehilangan kemampuan berkecambah terlalu cepat. (Yanti, 2019).

Sucahyono (2018) menyatakan bahwa beberapa unsur dapat mempengaruhi daya simpan suatu benih, antara lain kadar air awal benih, suhu dan kelembaban ruang penyimpanan, bahan pengemas, kontaminan benih, dan kombinasi benih yang retak. Komponen utama yang menentukan berapa lama benih dapat disimpan adalah tingkat kelembapan awalnya. Benih dengan kandungan air yang terlalu tinggi akan mengalami percepatan proses metabolisme dan respirasi, sehingga menyebabkan penurunan viabilitas benih akibat berkurangnya simpanan makanan. Proses autooksidasi lemak dipengaruhi secara negatif oleh rendahnya kadar air, yang pada gilirannya menurunkan viabilitas benih. Ketika terkena tingkat kelembapan di atas 70%, benih konvensional seperti kedelai, yang memiliki konsentrasi air tinggi, akan kehilangan sebagian viabilitasnya, umur simpannya berkurang, dan menjadi lebih rentan terhadap pertumbuhan dan perkembangan jamur (Kuswanto, 2003). Jika disimpan pada tingkat kelembapan awal 12–14%, kelangsungan hidup benih konvensional, seperti kedelai, dapat menurun dengan cepat. Salah satu dampak dari kandungan air yang sangat rendah—katakanlah, antara 3 dan 5 persen—adalah melambatnya laju perkecambahan, yang pada gilirannya menghambat imbibisi benih dan pada akhirnya menyebabkan kematian embrio (Kuswanto, 2003). Biji kedelai yang mengandung air kurang dari 11% dapat menghambat respirasi sehingga viabilitas benih tetap terjaga. (Tatipata, 2008).

Kelayakan penyimpanan benih dipengaruhi secara negatif oleh fluktuasi kelembaban udara relatif yang sangat tinggi (berkisar antara 65% hingga 100%) yang terjadi di wilayah tropis. Terjaganya viabilitas benih selama penyimpanan dipengaruhi oleh suhu ruang penyimpanan. Viabilitas benih dipertahankan lebih lama pada suhu rendah karena tertekannya aktivitas enzim dan melambatnya laju respirasi dibandingkan pada suhu tinggi (Danapriatna, 2007). Peningkatan suhu

tubuh secara bertahap mungkin terjadi saat bernafas. Kenaikan suhu ini dapat merusak benih yang disimpan jika terjadi di lingkungan yang lembab. Benih akan menghabiskan simpanan makanannya lebih cepat selama respirasi yang berkepanjangan karena proses tersebut bersifat oksidatif (Sucahyono, 2018). Embrio kekurangan nutrisi jika simpanan makanan di jaringan meristem terus-menerus habis karena rusaknya makanan yang disimpan. Hal tersebut dapat menyebabkan menurunnya keserempakan tumbuh atau vigor benih (Krisnawati dan Adie, 2008).

Bahan yang digunakan untuk menyimpan benih kedelai mempunyai pengaruh terhadap penurunan mutu fisiologisnya. Ada berbagai macam porositas dalam berbagai bahan pengemas. Seberapa baik suatu bahan dapat menahan udara dan uap air keluar dari lingkungan penyimpanannya disebut porositas (Sucahyono, 2018). Tujuan pengemasan benih adalah untuk menjaga isinya aman dari bahaya dan faktor lingkungan sehingga dapat dimanfaatkan sebagaimana mestinya (Marsh dan Bugusu, 2007). Untuk melindungi benih dari pengaruh luar selama penyimpanan, perlu dilakukan pengemasan dalam lingkungan mikro yang ideal (Nasrullah et al., 2021). Mempertahankan kadar air yang rendah dan mencegah respirasi benih di lingkungan yang tidak terpengaruh oleh kelembapan dan suhu adalah tujuan utama pengemasan. (Suhartanto, 2013).

Jika benih tercampur dengan kontaminan atau pecah, daya simpannya mungkin terganggu. Tempat berkembang biak yang potensial bagi mikroba dalam kemasan antara lain benih yang tidak sempurna atau kombinasi benih yang pecah. Karena benih kehilangan lapisan pelindungnya saat retak, benih menjadi lebih rentan terhadap pertumbuhan jamur atau bakteri. Kelangsungan hidup embrio benih terancam ketika mikroba menyebabkan peningkatan suhu, produksi etanol, dan uap air. Oleh karena itu, penyortiran benih untuk menghilangkan kotoran dan benih yang rusak sangatlah penting. (Sucahyono, 2018).

2.4. Kemunduran Benih

Deteriorasi benih kedelai yang cepat dalam penyimpanan menjadi perhatian di daerah tropis karena menurunkan kualitas benih (Danapriatna, 2007). Mutu benih berangsur-angsur menurun seiring berjalannya waktu sebagai akibat dari perubahan

fisiologis yang disebabkan oleh pengaruh luar; deteriorasi ini tidak dapat diubah (Ramadhani et al., 2018). Menurut Agustin (2010), semakin menurunnya viabilitas suatu benih maka akan terjadi perubahan kimia, fisiologis, dan fisik yang luas di dalam benih. Tanpa perawatan yang tepat, benih pasti akan rusak saat disimpan, baik di lingkungan terkendali maupun di tempat terbuka. Deteriorasi benih di penyimpanan terbuka dipengaruhi oleh variabel seperti kelembaban dan suhu. Proses deteriorasi dikaitkan dengan perubahan biokimia pada benih saat benih disimpan di lingkungan terkendali, di mana kelembapan relatif dan suhu relatif tetap konsisten. (Noviana *et al*, 2017).

Perubahan morfologi meliputi kulit menjadi lebih gelap dan nekrosis kotiledon; perubahan ultrastruktural meliputi penggabungan badan lemak (badan lipid) dan plasmalemma; ketidakmampuan benih untuk mempertahankan metabolit seluler yang bocor selama imbibisi; hilangnya aktivitas enzim; dan penurunan respirasi ditandai dengan gejala kemunduran benih (Agustin, 2010). Menurut Tatipata dkk. (2004), penanda biokimia dari deteriorasi benih meliputi peningkatan tingkat konduktivitas, berkurangnya simpanan makanan, dan aktivitas enzim. Seiring dengan bertambahnya usia tanaman secara fisiologis, tanaman kehilangan sebagian kemampuannya untuk berkecambah, menghasilkan jumlah kecambah yang sangat banyak, laju pertumbuhan di lahan lebih lambat, pertumbuhan dan perkembangannya terhambat, dan lebih rentan terhadap tekanan lingkungan yang berbahaya, yang semuanya dapat menyebabkan kerusakan pada tanaman. menurunkan hasil panennya (Hayati dan Setiono, 2021). Kecepatan penurunan benih berbeda-beda antara satu benih dengan benih lainnya karena faktor keturunan, dormansi benih, bentuk dan ketebalan kulit benih, serta komposisi kimia benih. (Anggraeni dan Suwarno, 2013).

Karena reputasinya sebagai sumber benih yang tinggi lemak dan kaya protein, kedelai dengan cepat deteriorasi di daerah tropis seperti Indonesia (Pramono et al., 2020). Biji yang kaya lemak akan mengalami autooksidasi selama disimpan. Transformasi asam lemak jenuh menjadi asam lemak tak jenuh melalui udara disebut autooksidasi. Biji dapat mengalami ketengikan oksidatif karena autooksidasi, yang tidak hanya menyebabkan bau dan rasa tidak enak, tetapi juga melepaskan bahan kimia berbahaya (Junita et al., 2019). Radikal bebas, produk

sampingan dari proses oksidatif, merusak banyak komponen biologis, termasuk protein, enzim, kromosom, dan banyak lagi. Kerusakan benih kedelai disebabkan oleh kerusakan jaringan akibat radikal bebas (Tatipata et al., 2004). Meskipun tidak mungkin mencegah penurunan kualitas dan kerusakan penyimpanan benih, beberapa kondisi penyimpanan dapat disesuaikan untuk mengurangi laju degradasi. (Yanti, 2019). Salah satu upaya untuk mengatasi deteriorsi akibat reaksi oksidatif yaitu dengan pemberian senyawa antioksidan (Junita *et al*, 2019).

2.5. *Seed Coating*

Suatu proses yang disebut seed coating melibatkan penutupan benih dengan senyawa yang dapat meningkatkan kekuatannya, seperti zat pengatur tumbuh, unsur hara mikro, mikroorganisme, fungisida, atau antioksidan (Kuswanto, 2003). Pelapisan benih mempunyai beberapa tujuan: membantu benih berkecambah lebih efisien, melindungi benih dari pengaruh luar, menjaga kadar air tetap konsisten, memudahkan penyimpanan, mengurangi pengaruh kondisi penyimpanan, dan meningkatkan umur simpan (Kuswanto, 2003). . Menurut Mugnisyah dan Setiawan (2004), pelapisan benih mempunyai kemampuan untuk mengubah morfologi benih sehingga menjadi lebih seragam dan mudah beradaptasi pada perbedaan jarak tanam antar tanaman. Ada beberapa manfaat dari melapisi benih: mencegah hama dan penyakit, memperpanjang umur simpan, mengurangi penyebaran penyakit dari benih di sekitarnya, dan bahkan berfungsi sebagai zat pengatur tumbuh, antioksidan, dan antimikroba. (Ikrawati *et al*, 2015). Pelapisan benih (*seed coating*) dilakukan dengan cara melapisi benih menggunakan bahan aktif dalam bentuk lapisan tipis berupa cairan atau tepung yang diformulasikan secara khusus dengan perekat agar dapat menempel dan bertahan lama pada permukaan benih (Supriadi, 2018).

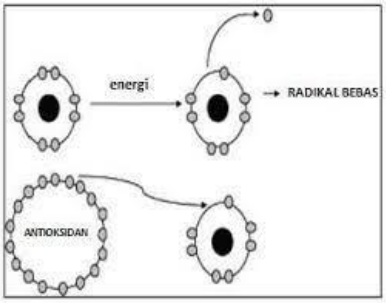
Perekat dan bahan kimia yang dapat dicampur diperlukan untuk proses pelapisan benih. Di luar itu, zat-zat tersebut tidak menghambat perkembangan benih (Agustiansyah, 2016). Menurut Zumani dan Suhartono (2018), polimer yang optimal untuk pelapis biji mempunyai sifat sebagai berikut: berbahan dasar air, memiliki nilai viskositas rendah, memadat pada konsentrasi tinggi, menunjukkan keseimbangan antara interaksi hidrofilik dan hidrofobik, dan kering hingga lapisan

tipis dan tahan lama. Copeland dan Mc Donald (2001) menyatakan bahwa bahan pelapis tidak beracun bagi benih, cepat pecah, dan larut dalam air sehingga tidak mengganggu proses perkecambahan. Karena kurangnya toksisitas dan ketidakmampuan untuk mengubah sifat fisiologis benih, gom arab merupakan pilihan yang tepat untuk pelapisan benih. Getah atau cairan yang dihasilkan pohon akasia (Acacia sp.) sebagai reaksi terhadap kerusakan disebut gummosis, dan dari sumber inilah getah arab berasal. (Hapsari, 2013).

2.6. Antioksidan

Salah satu usaha untuk menghambat proses kemunduran benih kaya lemak karena *autooksidai* (seperti kedelai) dapat dilakukan dengan perlakuan benih menggunakan zat antioksidan (Tasfa *et al*, 2016). Kemunduran benih akibat *autooksidasi* seperti yang terjadi pada kedelai dapat dihambat dengan penggunaan antioksidan (Tasfa *et al*, 2016). Lapisan antioksidan pada benih dapat menunda deteriorasi benih, yang berarti dapat menjaga kelangsungan benih kedelai (Hapsari dkk, 2016). Aktivitas antioksidan didefinisikan sebagai kapasitasnya untuk mencegah reaksi radikal bebas. (Indriani *et al*, 2015).

Bahan kimia yang menyumbangkan elektron atau bertindak sebagai reduktor dikenal sebagai antioksidan (Indriani et al., 2015). Meskipun berat molekulnya kecil, bahan kimia antioksidan dapat menghambat perkembangan proses oksidasi dengan menghalangi produksi radikal. Selain itu, antioksidan dapat mengikat molekul reaktif dan radikal bebas untuk menekan proses oksidasi, yang pada gilirannya mencegah kerusakan sel (Winarsi, 2007). Antioksidan bekerja dengan cara mengganggu reaksi berantai radikal bebas dengan menyuplai elektron ke molekul radikal bebas dengan cara yang terhubung secara struktural dengan struktur kimianya. (Zumani dan Suhartono, 2018).



Gambar 10. Pembentukan Radikal Bebas dan Peran Antioksidan Menstabilkan Radikal Bebas
Sumber : Andarina dan Djauhari, 2017

Antioksidan lebih banyak terdapat pada kulit buah dibandingkan pada bagian dalam buah. Menurut Bijaksana dkk. (2020), kulit buah dapat dimanfaatkan sebagai sumber antioksidan. Kulit nanas dapat melakukan sejumlah fungsi biologis, termasuk bertindak sebagai antioksidan (Pambudi, 2017). Kulit nanas merupakan sumber nutrisi yang baik, termasuk vitamin A, vitamin C, alkaloid, tanin, karotenoid, fosfor, magnesium, garam, zat besi, dan enzim bromelain (Salasa, 2017). Menurut Suryaman dkk. (2020), kulit buah naga dapat digunakan sebagai sumber antioksidan. Bahan kimia fitokimia yang terkandung dalam kulit buah naga memiliki beberapa efek positif bagi kesehatan. Pektin dapat diekstraksi dari kulit buah naga. Betacianin, flavonoid, vitamin C, dan fenolik semuanya ditemukan pada kulit buah naga. Selain itu, betalain dan antosianin juga terdapat pada kulit buah naga. Menurut Putri dkk. (2015), bahan kimia dan zat tersebut merupakan antioksidan alami yang tidak melibatkan enzim. Menurut Putri dkk. (2015), kulit buah naga memiliki aktivitas antioksidan yang lebih tinggi dibandingkan dagingnya. Untuk menjaga viabilitas benih kedelai selama penyimpanan, penelitian yang dilakukan oleh Zumani dan Suhartono (2018) menemukan bahwa perlakuan pelapisan benih dengan gom arab + asam askorbat atau gom arab + ekstrak manggis 10% meningkatkan vigor benih dan perkembangan awal vegetatif pada tanaman kedelai. Terdapat peningkatan yang signifikan pada bobot kering bibit, panjang bulu, daya hantar listrik, kemampuan berkecambah, dan kadar air benih setelah pelapisan benih dibandingkan dengan kontrol. Pemberian lapisan ekstrak kulit jeruk 1,5% pada biji melon mampu mempertahankan kadar air hingga minggu ke-4, kemampuan berkecambah hingga minggu ke-12, dan berat kering kecambah normal hingga minggu ke-8. (Anisa *et al*, 2017).