

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA, KERANGKA BERPIKIR DAN HIPOTESIS

2.1 Tinjauan pustaka

2.1.1 Tanaman andaliman (*Zanthoxylum acanthopodium* DC)

Indonesia merupakan negara yang memiliki keanekaragaman hayati yang sangat berlimpah. Sumatera Utara merupakan salah satu daerah di Indonesia yang mempunyai keanekaragaman hayati dari berbagai jenis tumbuhan. Salah satu tumbuhan yang menjadi khas makanan masyarakat Sumatera Utara dan pemanfaatannya masih digunakan sampai sekarang sebagai komoditas primer adalah buah Andaliman. Tumbuhan ini berasal dari wilayah Himalaya Subtropis dan ditemukan menyebar secara luas di berbagai negara, termasuk India Utara, Nepal, Pakistan Timur, Myanmar, Thailand, Cina dan Indonesia. Tumbuhan ini umumnya tumbuh liar di kawasan pegunungan pada ketinggian 1400 meter di atas permukaan laut (m dpl) dengan suhu berkisar antara 15°C hingga 18°C (Kurniawan 2023). Tanaman andaliman (*Zanthoxylum acanthopodium* DC) tumbuh secara alami di wilayah dengan ketinggian sekitar 1.400 meter di atas permukaan laut, memiliki curah hujan tahunan sekitar 2.500 mm, dan tanah berjenis lempung berpasir. Tanaman ini tergolong dalam famili Rutaceae (jeruk-jerukan) dan merupakan semak perennial yang dapat mencapai tinggi hingga 5 meter (Manurung, Nurhasnah, dan Warsodirejo, 2019).

Sharma (1993) menyatakan bahwa klasifikasi tanaman andaliman adalah:

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Spermatophyta
Sub divisi	: Angiospermae
Kelas	: Dicotyledoneae
Ordo	: Sapindales
Family	: Rutaceae
Genus	: <i>Zanthoxylum</i>
Spesies	: <i>Zanthoxylum acanthopodium</i> DC

Secara morfologi, tanaman andaliman (*Zanthoxylum acanthopodium* DC) dalam (Manurung, Nurhasnah, dan Warsodirejo, 2019) adalah:

Akar tanaman memiliki sistem perakaran tunggang yang kuat untuk menopang struktur aerialnya dan menyerap nutrisi dari tanah. Batang tanaman memiliki struktur yang keras dan berkayu berwarna hijau gelap serta duri duri tajam pada cabang batang dan rantingnya. Bentuk tanaman andaliman dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Tanaman buah andaliman
Sumber: Lumban Raja, Newanti, dan Hartana, 2017

Bunga tanaman tergolong bunga lengkap, berukuran sekitar 3 mm, termasuk dalam jenis bunga majemuk terbatas yang memiliki 5 hingga 7 kelopak daun, 5 hingga 6 benang sari, serta 3 hingga 4 putik, masing-masing dengan 1 bakal biji, namun tidak memiliki daun mahkota. Buah atau biji tanaman berbentuk bulat kecil menyerupai lada (merica) berwarna hijau yang akan berubah menjadi merah saat masak. Setiap buah mengandung satu biji berwarna hitam. Buah andaliman dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Buah andaliman
Sumber: Lumban Raja, Newanti, dan Hartana, 2017

Daun tanaman bertangkai, majemuk menyirip beranak daun gasal, panjang sekitar 5 hingga 20 cm dengan lebar 3 hingga 15 cm, dan terdapat kelenjar minyak.

Rakis bersayap, permukaan bagian atas, bagian bawah rakis, dan anak daun berdur; 3 hingga 11 anak daun, berbentuk jorong, ujung meruncing, tepi bergerigi halus, paling ujung terbesar, anak daun panjang 1 hingga 7 cm, lebar 0.5 hingga 2.0 cm. Bentuk daun tanaman andaliman dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Daun andaliman
Sumber: Lumban Raja, Newanti, dan Hartana, 2017

2.1.2 Tanaman kedelai (*Glycine max* L)

Kedelai (*Glycine max* L) merupakan tanaman pangan utama ketiga setelah padi dan jagung (Stefia, 2017). Kedelai berfungsi sebagai sumber utama protein nabati, minyak nabati, dan dimanfaatkan sebagai bahan baku sektor industri pangan maupun non-pangan. Kedelai merupakan tanaman legum berkadar protein tinggi dibandingkan dengan kacang-kacangan lainnya, sehingga banyak dikembangkan sebagai bahan pangan fungsional.

Tanaman ini mampu tumbuh baik pada suhu 20°C hingga 30°C, intensitas cahaya tinggi, kelembapan sedang, dan dapat beradaptasi di berbagai jenis tanah dengan tingkat aerasi dan drainase baik. Menurut Adie dan Krisnawati (2018), kedelai mempunyai umur tanam 72 sampai 90 hari dan dapat dipanen setiap tahun. Secara botani, kedelai merupakan tanaman semusim dengan tipe perakaran tunggang, batang tegak atau merambat pendek, serta memiliki umur panen berkisar 70 hingga 110 hari tergantung varietas dan lingkungan. Tanaman ini termasuk famili Fabaceae dan mampu bersimbiosis dengan bakteri *Rhizobium japonicum* yang membentuk bintil akar untuk fiksasi nitrogen.

Berikut merupakan 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
 Ordo : Fabales
 Family : Fabaceae/leguminone-pea family
 Genus : Glycine willd-soybean
 Spesies : *Glycine max* (L) Merr-soybean

Viabilitas merupakan kemampuan benih untuk berkecambah dan menghasilkan kecambah secara normal. Viabilitas merupakan daya hidup benih atau kekuatan tumbuh benih yang ditunjukkan dengan gejala metabolisme dengan gejala pertumbuhan. Daya berkecambah benih, kecepatan berkecambah, panjang hipokotil, panjang radikula, dan bobot kering kecambah normal merupakan salah satu parameter pengujian viabilitas potensial benih. Viabilitas potensial benih adalah kemampuan benih menumbuhkan tanaman dan berproduksi normal pada kondisi lapang yang optimum (Yuliani, Komariah, dan Indriana, 2023).

Vigor benih adalah kemampuan benih untuk tumbuh dengan normal dalam kondisi lapang yang sub optimum. Benih bermutu tinggi dapat dicirikan dengan vigor yang tinggi (Ilyas, 2012). Benih dengan vigor tinggi dapat berproduksi secara normal dalam keadaan sub optimum maupun di atas kondisi normal, serta memiliki kemampuan untuk tumbuh secara serempak dan cepat (Sadjad, Murniati, dan Ilyas, 1999). Kecepatan pertumbuhan mencerminkan vigor atau kekuatan tumbuh benih, karena benih tumbuh dengan cepat lebih mampu menghadapi kondisi lapang yang tidak optimal (Lesisolo, Riry, dan Matatula, 2013). Parameter dapat dilakukan dengan membandingkan kecambah satu dengan yang lainnya berdasarkan kriteria kecambah normal (vigor), abnormal (non-vigor), dan benih yang tidak tumbuh dalam satu kondisi percobaan. Benih yang mengalami perkecambahan normal, abnormal, dan benih mati dapat dilihat pada Gambar 4.



a. Kecambah normal

b. Kecambah abnormal

c. Benih mati

Gambar 4. a. Kecambah normal, b. kecambah abnormal, c. benih mati.

Sumber: (Dokumentasi pribadi, 2026)

Pertumbuhan vegetatif tanaman kedelai dimulai sejak benih berkecambah hingga 28 hari setelah tanam (Bertham dkk., 2018). Parameter dalam pertumbuhan vegetatif kedelai terdiri dari tinggi tanaman, luas daun, dan jumlah cabang. Tinggi tanaman, luas daun, dan jumlah cabang disebabkan oleh beberapa faktor lingkungan, seperti cahaya matahari, curah hujan, kelembapan dan cuaca setempat. Selain itu, perbedaan pertumbuhan awal kedelai dapat disebabkan oleh faktor genotip dan varietas. Hal ini sependapat dengan Nilahayati dan Putri (2015) mengatakan bahwa adanya perbedaan tinggi, luas daun dan jumlah cabang tanaman disebabkan oleh keunggulan dari masing-masing varietas sesuai dengan genotip yang dimilikinya dalam kondisi lingkungan tertentu, sehingga tiap varietas menampilkan sifat dan keunggulannya masing-masing. Varietas berperan dalam produksi kedelai, karena untuk mencapai hasil yang tinggi sangat ditentukan oleh potensi genetiknya. Varietas grobogan merupakan salah satu varietas unggul kedelai yang berasal dari pemurnian populasi lokal Malabar grobogan yang memiliki sifat genetik yang baik (Bertham dkk., 2018).

2.1.3 Metode ekstraksi

Metode ekstraksi didefinisikan sebagai prosedur pemisahan komponen dari material padat atau cair dengan menggunakan pelarut yang sesuai untuk melarutkan senyawa target yang diperoleh dalam bentuk ekstrak (Tuhuloula, Budiarti, dan Fitriani, 2013). Pemilihan metode ekstraksi yang sesuai sangat penting karena dapat memengaruhi jumlah, kualitas, serta stabilitas senyawa yang hendak diisolasi (Firdiyansyah dkk., 2024). Berbagai metode ekstraksi dapat diterapkan untuk mengekstrak substansi biofungsional tumbuhan seperti metode ekstraksi maserasi

dan sokletasi yang tergolong dalam metode konvensional yang paling umum untuk digunakan.

Pemilihan metode ekstraksi tergantung pada sifat bahan dan senyawa yang akan diisolasi. Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap ekstraksi adalah metode ekstraksi (Dutra, Leite, dan Barbosa, 2008), lama ekstraksi (Kemit, Rai, dan Nocianitri, 2017), konsentrasi pelarut (Suhendra, Widarta, dan Wiadnyani, 2019), dan jenis pelarut (Suryani, Permana, dan Jambe, 2016). Lama ekstraksi harus diatur secara tepat, durasi yang terlalu singkat dapat menyebabkan ekstraksi tidak optimal, sedangkan durasi waktu yang terlalu lama justru menyebabkan kerusakan senyawa aktif (Tambun dkk., 2016). Selain itu, peningkatan suhu dapat mempercepat proses, tetapi suhu yang terlalu tinggi berisiko merusak senyawa yang sensitif terhadap panas (Roy, Shrestha, dan Lee, 2021). Jenis pelarut yang digunakan juga memegang peran penting, pelarut polar seperti ethanol lebih efektif mengekstrak antioksidan kuat seperti flavonoid dan polifenol. Oleh karena itu, kombinasi metode dan pelarut yang tepat diperlukan untuk mengoptimalkan hasil ekstraksi (Wijaya, Jubaidah, Rukayyah, 2022).

Ekstraksi menggunakan pelarut terdiri dari cara dingin yaitu maserasi dan cara panas yaitu sokletasi (Wijaya, Novitasari, dan Jubaidah, 2018). Maserasi adalah salah satu metode pemisahan senyawa dengan cara perendaman menggunakan pelarut pada temperatur tertentu (Karina, Indrayani, dan Sirait, 2016). Pada saat proses perendaman bahan akan terjadi pemecahan dinding sel dan membrane sel yang diakibatkan oleh perbedaan tekanan antara luar sel dengan bagian dalam sel sehingga metabolit sekunder yang ada dalam sitoplasma akan pecah dan terlarut pada pelarut yang digunakan (Novitasari dan Putri, 2016). Ekstraksi menggunakan sokletasi merupakan salah satu metode yang paling baik digunakan untuk memisahkan senyawa bioaktif dari alam. Metode ekstraksi sokletasi memiliki beberapa kelebihan dibanding metode ekstraksi lain yaitu sampel kontak dengan pelarut yang murni secara berulang, kemampuan mengekstraksi sampel lebih tanpa tergantung jumlah pelarut yang banyak (Anam dkk., 2014). Berdasarkan prosesnya, metode maserasi merupakan ekstraksi bertahap, sedangkan metode sokletasi merupakan ekstraksi berkesinambungan.

Berdasarkan perkembangannya, metode ekstraksi maserasi dan sokletasi termasuk metode ekstraksi konvensional. Hingga saat ini metode maserasi dan sokletasi merupakan metode konvensional yang masih bertahan digunakan dalam produksi ekstrak yang mengandung senyawa bioaktif dari sampel bahan alam terutama tumbuhan obat meskipun telah hadir metode non konvensional yang mungkin menjanjikan proses yang lebih efisien dengan hasil yang efektif (Azmir dkk., 2013).

Masing masing metode ekstraksi memiliki kekurangan dan keunggulan. Kekurangan metode maserasi adalah waktu dan penggunaan pelarut yang lebih banyak dibanding metode sokletasi dan metode ekstraksi yang dibantu oleh ultrasonik. Selain itu, metode ekstraksi maserasi dalam perolehan senyawa bioaktif, seperti fenolik, seringkali lebih rendah dibandingkan metode konvensional lainnya (Khoddami, Wilkes, dan Roberts, 2013). Meski demikian, ekstraksi dengan maserasi masih banyak digunakan karena relatif lebih aman untuk senyawa kimia yang bersifat termolabil dimana proses ekstraksi tidak menggunakan panas, dengan proses dan alat yang sederhana serta biaya yang relatif lebih murah (Azwanida, 2015). Metode sokletasi cukup menggunakan pelarut dalam jumlah yang lebih sedikit dibanding dengan metode maserasi, namun metode sokletasi memerlukan pelarut dengan tingkat kemurnian yang lebih tinggi sehingga relatif lebih banyak menghabiskan biaya. Metode ekstraksi dengan bantuan ultrasonik dinilai mampu memberikan solusi terhadap kekurangan efisiensi yang dimiliki oleh metode maserasi dan sokletasi, khususnya dalam menarik senyawa bioaktif penting seperti fenolik dan flavonoid (Khoddami, Wilkes, dan Roberts, 2013).

Metode ekstraksi maserasi dilakukan tanpa melalui proses pemanasan, mengandalkan prinsip difusi. Proses ini melibatkan perpindahan senyawa aktif dari dalam sel tumbuhan ke pelarut karena adanya perbedaan konsentrasi. Pelarut memasuki jaringan simplisia, melarutkan zat aktif, dan zat tersebut berdifusi keluar hingga tercapai kondisi kesetimbangan (Luthfianto, Handayani, dan Utami, 2024). Sedangkan metode sokletasi dilakukan melalui proses pemanasan. Ekstraksi dilakukan pada temperatur $>100^{\circ}\text{C}$ hingga tetesan menjadi jernih atau bening dan kemudian *rotary evaporator* digunakan untuk memisahkan ekstrak dari pelarut dan dilanjutkan menguapkan ekstrak pada temperatur 50°C dengan meletakkannya di

atas *waterbath* untuk menghasilkan ekstrak yang kental (Rienoviar, Heliawati, dan Khoiriyah, 2019).

2.1.4 Konsentrasi ekstrak buah andaliman

Konsentrasi didefinisikan sebagai jumlah zat terlarut per unit volume atau massa pelarut dalam suatu larutan (Atkins dan De Paula, 2014). Dalam konteks ekstraksi bahan aktif, penentuan konsentrasi penting karena menentukan jumlah komponen aktif yang tersedia, serta menyeimbangkan potensial dan kemungkinan efek negatifnya. Konsentrasi yang terlalu rendah dapat menyebabkan komponen aktif tidak mencapai batas efektivitasnya, sementara konsentrasi yang terlalu tinggi justru dapat bersifat fitotoksik atau menghambat fisiologi benih (Taiz dkk., 2015). Oleh karena itu, uji konsentrasi secara bertingkat sangat diperlukan untuk menemukan dosis ideal yang memberikan manfaat maksimal tanpa menimbulkan dampak negatif.

Dalam perlakuan *seed coating*, konsentrasi ekstrak buah andaliman yang diaplikasikan akan memengaruhi proses imbibisi benih. Imbibisi merupakan tahap yang sangat penting yang dapat menyebabkan peningkatan kandungan air dari benih biji tersebut yang diperlukan untuk meningkatkan perubahan kimiawi dalam benih sehingga benih berkecambah. Senyawa aktif yang pekat (konsentrasi tinggi) pada lapisan luar benih berpotensi mengubah potensial air di sekitar permukaan benih. Konsentrasi ekstrak yang terlalu tinggi, dapat terjadi penurunan pada potensial air eksternal, yang beresiko menghambat laju penyerapan air oleh benih sehingga mengakibatkan kegagalan perkecambahan normal (Kramer dan Boyer, 1995). Hal ini menunjukkan adanya titik batas toleransi konsentrasi ekstrak yang dapat diterima oleh benih tanpa memengaruhi proses imbibisinya.

Setelah proses imbibisi berhasil, konsentrasi suatu senyawa aktif akan memengaruhi fase kedua, yaitu perombakan metabolik dalam benih. Proses metabolisme yang terdiri dari proses katabolisme dimana terjadi proses perombakan cadangan makanan sehingga menghasilkan energi ATP dan proses anabolisme terjadi sintesa senyawa protein untuk pembentukan sel-sel baru pada embrio. Konsentrasi senyawa aktif yang optimal dari *seed coating* akan berperan dalam memicu dan melindungi proses metabolik benih, melindungi enzim-enzim

dan menjaga membran sel (Halliwell dan Gutteridge, 2015). Sebaliknya, konsentrasi yang kurang gagal memberikan perlindungan, sementara konsentrasi yang berlebihan dapat mengganggu system enzimatik benih.

Salah satu penelitian yang membahas tentang berbagai taraf konsentrasi suatu senyawa aktif adalah penelitian yang dilakukan oleh Tampubolon, Sitohang, dan Laia (2024) menguji pengaruh penambahan andaliman (*Zanthoxylum acanthopodium* DC) selama penyimpanan terhadap mutu keripik pisang. Pada pengujiannya menggunakan perbandingan konsentrasi yang terdiri dari 4 taraf konsentrasi dan lama penyimpanan yang terdiri dari 4 taraf dengan hasil terbaik diperoleh pada kombinasi perlakuan A₄L₁ dimana A₄ (singkong 50 g dan andaliman 5 g) dan L₁ adalah lama penyimpanan selama 7 hari. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi yang digunakan memiliki pengaruh dan peranan penting dalam menunjukkan hasil paling baik dalam suatu percobaan. Penelitian lain yang telah dilakukan oleh Mehta, Das, dan Bhandari 2013 menunjukkan bahwa ekstrak ethanol buah andaliman mengandung senyawa metabolit sekunder, yaitu *alkaloid, flavonoid, glycoside, saponin, tanin, dan triterpenoid/steroid*.

2.1.5 Viabilitas benih

Viabilitas benih merupakan kemampuan benih untuk berkecambah dan menghasilkan kecambah secara normal. Viabilitas benih berkaitan dengan fisiologis dan biokimia benih, termasuk stabilitas membran, cadangan makanan, serta aktivitas enzimatik yang diperlukan untuk memulai proses perkecambahan. Daya kecambah merupakan salah satu parameter viabilitas potensial benih. Menurut Yuliani, Komariah, dan Indriani (2023) Viabilitas potensial benih merupakan kemampuan benih menumbuhkan tanaman dan berproduksi normal pada kondisi yang optimum.

Menurut Sutopo (2017) uji viabilitas benih dapat dinilai melalui metode langsung maupun tidak langsung, dengan mengamati gejala-gejala metabolisme atau membandingkan unsur-unsur pertumbuhan benih dalam periode tertentu. Parameter pengujian yang digunakan untuk menilai viabilitas benih adalah persentase perkecambahan yang cepat dan pertumbuhan yang kuat, yang menunjukkan kekuatan tumbuh dan dinyatakan sebagai laju perkecambahan serta

kelengkapan bagian-bagian kecambah yang terdiri dari hipokotil, plumula, dan radikula. Penilaian dapat dilakukan dengan membandingkan kecambah satu dengan yang lainnya berdasarkan kriteria kecambah normal, abnormal, dan benih yang tidak tumbuh dalam satu kondisi percobaan.

Viabilitas benih sangat dipengaruhi oleh kadar air, suhu penyimpanan, kondisi lingkungan, serta kualitas fisiologis benih pada saat pemanenan. Proses viabilitas benih dibagi menjadi dua kategori, yaitu kondisi lingkungan optimum dan sub optimum. Kondisi lingkungan dianggap optimum jika kebutuhan air terpenuhi secara cukup, suhu dan lingkungan sesuai, serta tersedia cukup oksigen dan cahaya matahari sedangkan kondisi lingkungan sub optimum terjadi ketika terdapat faktor penghambat, seperti kurangnya kebutuhan air, kurangnya cahaya matahari, benih terinfeksi penyakit rebah kecambah, dan lingkungan yang tidak mendukung (Oben, Bintoro, dan Riniarti, 2014).

2.1.6 Vigor benih

Vigor benih merupakan indikator kualitas fisiologis benih yang menunjukkan kemampuan benih untuk tumbuh dengan normal, cepat dan serempak, seragam, serta memiliki toleransi tinggi terhadap kondisi lingkungan yang sub optimal maupun kondisi lingkungan optimal (Sadjad, Murniati, dan Ilyas, 1999). Kecepatan pertumbuhan mencerminkan vigor atau kekuatan tumbuh benih, karena benih yang tumbuh dengan cepat lebih mampu menghadapi kondisi lapang yang tidak optimal (Lesisol, Riry, dan Matatuli, 2013).

Menurut Sutopo (2017) vigor dicerminkan oleh kekuatan tumbuh dan daya simpan benih, benih yang memiliki vigor rendah menyebabkan persentase kecambah tumbuh menjadi rendah, terutama dalam kondisi tanah yang tidak ideal. Ciri dari benih yang memiliki vigor tinggi adalah tahan disimpan lama, tahan serangan hama penyakit, tumbuh cepat dan serempak, serta menghasilkan tanaman dewasa yang normal dan berproduksi baik dalam kondisi lingkungan yang sub optimal. Vigor benih menjadi komponen penting dalam menentukan hasil tanaman di lapangan, bahkan ketika viabilitas benih masih tergolong tinggi. Viabilitas dan vigor merupakan tolak ukur daya tumbuh dari benih itu sendiri, benih yang dikatakan berkecambah apabila menghasilkan kecambah yang normal.

Parameter pengujian yang digunakan untuk menilai vigor benih adalah persentase perkecambahan yang cepat dan serempak, pertumbuhan yang kuat, yang menunjukkan kekuatan tumbuh dan dinyatakan sebagai laju perkecambahan serta kelengkapan bagian-bagian kecambah yang terdiri dari hipokotil, plumula, dan radikula. Penilaian dapat dilakukan dengan membandingkan kecambah satu dengan yang lainnya berdasarkan kriteria kecambah normal (vigor), abnormal (non-vigor), dan benih yang tidak tumbuh dalam satu kondisi percobaan.

2.1.7 Pelapisan benih (*Seed coating*)

Pelapisan benih (*seed coating*) merupakan proses melapisi benih dengan senyawa tertentu seperti zat pengatur tumbuh, unsur hara, mikroorganisme, fungisida, atau antioksidan untuk meningkatkan kualitas benih (Kuswanto, 2017). Tujuan utama pelapisan benih antara lain untuk memperbaiki daya kecambah, menjaga kadar air, melindungi benih dari pengaruh lingkungan, serta memperpanjang masa simpan (Kuswanto, 2017). Selain itu, pelapisan benih juga berperan dalam memperbaiki mutu fisiologis benih dan membantu mengoptimalkan pertumbuhannya meskipun dihadapkan pada berbagai kondisi lingkungan optimal maupun sub optimal.

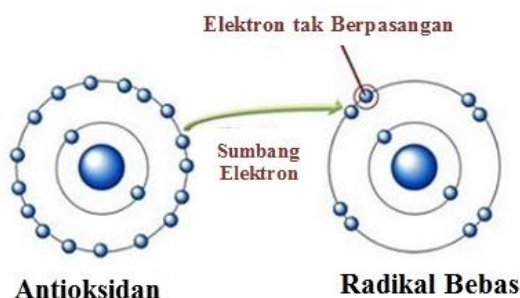
Menurut Mugnisyah dan Setiawan, (2004) *seed coating* juga dapat membuat ukuran dan bentuk benih lebih seragam sehingga memudahkan adaptasi jarak tanam. Selain itu, pelapisan benih bermanfaat dalam mengendalikan hama dan penyakit, mengurangi penularan patogen melalui benih, dan dapat berfungsi sebagai antioksidan, antimikroba, maupun zat pengatur tumbuh (Indriani, 2015). Bahan pelapis yang digunakan sebaiknya tidak beracun bagi benih, cepat pecah, dan larut dalam air sehingga tidak mengganggu proses perkecambahan.

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 menggunakan perekat agar dapat menempel dan bertahan lama pada permukaan benih (Supriadi, 2018). *Arabic gum* merupakan pilihan yang sering digunakan sebagai perekat untuk pelapisan benih. Menurut Hapsari (2013), *arabic gum* dihasilkan melalui proses gummosis, di mana

pohon akasia (*Acacia sp.*) menghasilkan cairan atau getah sebagai bentuk respons perlindungan terhadap kerusakan yang terjadi.

2.1.8 Kandungan antioksidan pada buah andaliman

Aktivitas antioksidan didefinisikan sebagai kemampuannya dalam mencegah pembentukan radikal bebas (Indriani, 2015). Antioksidan merupakan senyawa yang dapat bertindak sebagai reduktor atau menyumbangkan atom untuk menghentikan reaksi oksidasi. Meski memiliki berat molekul kecil, antioksidan dapat mengikat dan menetralkan radikal bebas, sehingga melindungi benih dari kerusakan (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). Proses pembentukan radikal bebas dan peran antioksidan dalam menstabilkan radikal bebas dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Pembentukan radikal bebas dan peran antioksidan dalam menstabilkan radikal bebas

Sumber: Andarina dan Djauhari, 2017

Salah satu bahan alami yang mengandung antioksidan adalah buah andaliman (*Zanthoxylum acanthopodium* DC). Berdasarkan beberapa penelitian, tanaman andaliman (*Zanthoxylum acanthopodium* DC) memiliki aktivitas antioksidan dengan berbagai senyawa yang terdapat didalamnya. Beberapa penelitian yang sudah dilakukan menunjukkan bahwa andaliman mengandung senyawa golongan metabolit sekunder antara lain alkaloid, flavonoid, steroid, fenolik, lignan, kumarin, terpenoid, dan tanin (Mehta, Das, dan Bhandari, 2013). Daun andaliman mengandung saponin, alkaloid, dan steroid (Batubara, Sabri, dan Tanjung, 2017), anti bakteri *Staphylococcus aureus* (Shasti dan Siregar, 2017), anti

foto oksidatif dari ekstrak etanol, anti bakteri *Escheria coli* dan *Staphylococcus aureus* dari ekstrak etil asetat andaliman (Amanda, 2017).

Secara umum, senyawa aktif yang terkandung di dalam buah andaliman yaitu *flavonoid*, *saponin*, *alkaloid*, *triterpenoid*, *steroid*, *saponin*, dan *tanin* berpotensi sebagai antioksidan alami penangkal radikal bebas yang menyebabkan terjadinya proses deteriorasi benih. Metode ekstraksi dan konsentrasi ekstrak buah andaliman akan memiliki pengaruh terhadap hasil dari pelapisan benih kedelai terhadap viabilitas, vigor, dan pertumbuhan awal.

2.2 Kerangka berpikir

Benih kedelai termasuk dalam benih ortodoks dengan kadar air yang rendah, sehingga memiliki umur masa simpan yang panjang. Viabilitas benih ortodoks, terutama benih kedelai saat penyimpanan mengalami penurunan apabila semakin lama disimpan dan bila benih kedelai disimpan dengan kadar air awal 12-14%, maka dalam waktu satu tahun penyimpanan mengakibatkan daya kecambah benih turun menjadi 60% (Agustiansyah, 2016). Kolo dan Tefa (2016) menyatakan perlakuan terhadap benih yang disimpan selama 8 minggu pada suhu 6°C-10°C memiliki hasil yang lebih tinggi dibandingkan suhu kamar 26°C-29°C dengan kecepatan tumbuh 9,2%, daya berkecambah 56%, indeks vigor 36% dan keserampakan tumbuh 60,67% serta kadar air 4,67%.

Kedelai di Indonesia memiliki prospek pengembangan yang baik dengan nilai ekonomi yang tinggi, namun hal ini sulit dicapai karena beberapa faktor, seperti rendahnya kualitas mutu benih akibat kemunduran benih yang terjadi selama penyimpanan (Aldi, Retno, dan Pongki, 2023). Benih tanaman yang disimpan dalam jangka waktu lama akan mengalami kemunduran yang mengakibatkan penurunan mutu benih. Mutu benih merupakan faktor keberhasilan dalam budidaya tanaman untuk mencapai hasil produksi optimal. Khamid dkk., (2019) menyatakan untuk meningkatkan keberhasilan produksi tergantung pada berbagai aspek salah satunya adalah penggunaan benih unggul yang bermutu tinggi, benih yang bermutu tinggi akan menghasilkan produksi yang tinggi. Mutu fisiologis merupakan salah satu mutu benih yang dapat dilihat dari nilai viabilitas dan vigor benih. Mutu benih dapat dilihat dari nilai viabilitas, vigor, dan daya simpan benih.

Benih yang bermutu adalah benih yang memiliki viabilitas dan vigor yang cukup tinggi, namun vigor benih dapat mengalami suatu kemunduran apabila prosesnya bersamaan dengan lamanya suatu penyimpanan sehingga benih tersebut dapat mengalami kemunduran yang terjadi karena adanya enzim yang mengalami degradasi dan sudah tidak aktif lagi (Copeland dan Mc Donald, 2001). Mutu benih mengalami kemunduran seiring lamanya penyimpanan apabila tidak diberi perlakuan pasca panen (Raganatha, Raka, dan Siadi, 2014). Selama proses penyimpanan, benih mengalami kemunduran benih disebabkan oleh meningkatnya kandungan lipid peroksidasi dan radikal bebas di dalam benih, kandungan lipid peroksidasi yang tinggi dapat merusak integritas membrane sehingga menyebabkan benih kehilangan viabilitas dan vigor (Copeland dan Mc Donald, 2001).

Pelapisan benih merupakan salah satu metode untuk memperbaiki mutu benih dengan penambahan bahan kimia pada formula *coating* (Ikrarwati, Ilyas, dan Yukti, 2016). Salah satunya yaitu penggunaan antioksidan pada benih, penggunaan antioksidan pada benih dapat menghambat proses kemunduran benih (Tasfa, Syamsuddin dan Halimursyadah, 2016). Pelapisan benih dengan antioksidan dapat mencegah peroksidasi lipid dalam membran dengan bertindak sebagai penghalang fisik bagi aktivitas lipoxigenase sepanjang daerah lemak tak jenuh (Priestley, 1986). Mekanisme kerja antioksidan berkaitan dengan struktur molekulnya yang mampu mendonorkan elektron kepada radikal bebas, sehingga mampu menghentikan reaksi berantai yang ditimbulkan oleh radikal bebas tersebut (Sayuti dan Yenrina, 2015). Perlakuan benih seperti pelapisan dan lama simpan benih dapat dilakukan untuk mendapatkan benih kedelai dengan mutu baik (Puspita dkk., 2019). Benih yang diberikan pelapisan benih mampu mempertahankan mutu dibandingkan dengan benih yang tidak. Pelapisan benih dapat mempertahankan kadar air, daya berkecambah, panjang plumula, dan bobot kering kecambah normal dibandingkan dengan tidak dilakukan pelapisan pada benih (Ikrarwati dkk., 2015).

Salah satu bahan alami yang mengandung antioksidan adalah buah andaliman (*Zanthoxylum acanthopodium* DC) (Hariana, 2013). Beberapa penelitian tentang potensi andaliman sudah dilakukan yaitu, andaliman mengandung senyawa golongan metabolit sekunder berupa *alkaloid*, *glikosida*, *karbohidrat*, *tannin*,

fenol, flavonoid, seteroid, minyak dan lemak (Mehta, Das, dan Bhandari, 2013). Senyawa senyawa tersebut berpotensi sebagai antioksidan alami penangkal radikal bebas. Antioksidan adalah suatu senyawa atau komponen kimia yang dalam kadar atau jumlah tertentu mampu menghambat atau memperlambat kerusakan akibat proses oksidasi (Sayuti dan Yenrina, 2015). Dengan demikian, ekstrak buah andaliman berpotensi besar untuk dimanfaatkan sebagai bahan pelapis benih berbasis antioksidan alami. Dalam penggunaannya sebagai bahan dalam pelapisan benih, metode ekstraksi dan konsentrasi ekstrak buah andaliman memiliki pengaruh dalam pengujian setiap parameter.

Pembuatan suatu ekstrak dan kandungan senyawa dalam ekstrak dipengaruhi oleh metode ekstraksi yang akan menentukan banyaknya zat yang dapat diekstrak (Putri, Hidayatullah, dan Susiani, 2024). Metode ekstraksi yang dipakai pada percobaan ini adalah menggunakan metode ekstraksi maserasi dan sokletasi. Ekstraksi maserasi dipilih karena metode ini tidak menggunakan pemanasan sehingga dapat menghindari rusaknya senyawa (Widwiasuti, Puspitasari, dan Dewi, 2023). Metode sokletasi dipilih karena metode ini bekerja dengan cara penyaringan secara berulang sehingga mendapatkan hasil yang sempurna dan pelarut yang digunakan relative sedikit (Anam, 2014).

Metode maserasi merupakan salah satu metode pemisahan senyawa dengan cara perendaman menggunakan pelarut pada temperatur tertentu (Asworo dan Widwiasuti, 2023). Proses perendaman bahan akan mengalami pemecahan dinding sel dan membran sel yang diakibatkan oleh perbedaan tekanan antara luar sel dengan bagian dalam sel sehingga metabolit sekunder yang ada dalam sitoplasma akan pecah dan terlarut pada pelarut yang digunakan (Novitasari dan Putri, 2016). Metode ekstraksi maserasi memiliki kelebihan yaitu tidak memerlukan peralatan khusus dan senyawa yang mudah rusak terhadap pemanasan akan tetap terjaga, tetapi metode ini memiliki kelemahan yaitu memerlukan pelarut yang banyak, membutuhkan waktu yang cukup lama, dan kemungkinan kehilangan beberapa senyawa yang mungkin sulit diekstraksi pada suhu ruang (Dhaiffullah dkk., 2025).

Metode sokletasi merupakan salah satu teknik ekstraksi senyawa bioaktif yang umum digunakan dalam pemisahan komponen dari bahan padat menggunakan pelarut melalui proses refluks berulang (Dhaiffullah dkk., 2025). Ekstraksi menggunakan sokletasi merupakan salah satu metode yang paling baik digunakan dalam memisahkan senyawa bioaktif dari alam (Wijaya, Jubaidah, dan Rukayyah, 2022). Metode ekstraksi sokletasi memiliki beberapa kelebihan dibanding metode ekstraksi lain yaitu dapat menghasilkan ekstrak yang lebih banyak dan waktu yang digunakan lebih cepat, sedangkan kelemahannya yaitu senyawa yang terekstraksi akan lebih mudah mengalami kerusakan (Wijaya, Jubaidah, dan Rukayyah, 2022).

Penentuan konsentrasi perlakuan pada ekstrak buah andaliman merupakan tahapan penting untuk menentukan dosis efektif yang mampu memberikan respons optimal tanpa menimbulkan efek toksik atau penurunan kualitas formulasi. Konsentrasi perlakuan sangat bergantung pada karakter ekstrak yang dihasilkan oleh metode ekstraksi, karena setiap metode menghasilkan stabilitas senyawa yang berbeda. Menurut Azwanida, (2015) ekstrak hasil maserasi umumnya memiliki kadar senyawa aktif lebih rendah dan lebih stabil terhadap panas, sehingga konsentrasi perlakuan biasanya disesuaikan menjadi lebih tinggi untuk mencapai efektivitas yang optimal sedangkan metode sokletasi menghasilkan ekstrak yang lebih pekat karena pemanasan sehingga mempercepat keluarnya metabolit sekunder dan meningkatkan rendemen senyawa seperti fenolik dan flavonoid (Biswas, Sahoo, dan Chatli, 2013). Oleh karena itu, konsentrasi perlakuan dari ekstrak sokletasi seringkali dapat digunakan pada konsentrasi yang lebih rendah. Penentuan konsentrasi perlakuan memerlukan uji pendahuluan, seperti pengujian aktivitas antioksidan untuk menetapkan rentang konsentrasi optimal yang selaras dengan karakteristik ekstrak yang dihasilkan dari setiap metode. Dengan demikian, interaksi antara metode ekstraksi dan konsentrasi ekstrak dapat didapatkan melalui berbagai hasil pengujian sehingga mendapatkan formulasi yang paling baik.

2.3 Hipotesis

Hipotesis penelitian ini adalah:

1. Terdapat interaksi antara metode ekstraksi dan konsentrasi ekstrak buah andaliman terhadap viabilitas, vigor dan pertumbuhan awal benih kedelai.

2. Terdapat metode ekstraksi dan konsentrasi ekstrak buah andaliman yang berpengaruh paling baik terhadap viabilitas, vigor dan pertumbuhan awal benih kedelai.