

BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Salah satu komoditas hortikultura yang banyak dimanfaatkan, memiliki nilai ekonomi tinggi serta dibudidayakan di berbagai daerah adalah cabai (*Capsicum annum* L.). Seiring dengan bertambahnya populasi dan berkembangnya industri makanan yang menggunakan cabai sebagai bahan bakunya, kebutuhan cabai di Indonesia terus meningkat (Agustiansyah *et al.*, 2021). Menurut Badan Pangan Nasional (Bapanas), konsumsi cabai masyarakat Indonesia terus mengalami peningkatan. Pada tahun 2023, konsumsi cabai mencapai rekor tertinggi dengan rata-rata konsumsi cabai besar sebesar 2,42 kg/kapita/tahun dan cabai rawit sebesar 2,19 kg/kapita/tahun. Peningkatan konsumsi tersebut menyebabkan kebutuhan cabai untuk konsumsi rumah tangga juga meningkat, yaitu sebesar 675 ribu ton untuk cabai besar (meningkat 5,7%) dan 610,8 ribu ton untuk cabai rawit (meningkat 6,9%) dibandingkan tahun sebelumnya.

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) dan Kementerian Pertanian, konsumsi cabai diproyeksikan terus mengalami kenaikan pada tahun-tahun berikutnya. Pada tahun 2025, konsumsi cabai merah mencapai 2,059 kg/kapita/tahun, meningkat sekitar 15,04% dibandingkan tahun 2024. Konsumsi tersebut diproyeksikan terus bertambah menjadi 2,095 kg/kapita/tahun pada tahun 2026 dan 2,132 kg/kapita/tahun pada tahun 2027, dengan laju pertumbuhan rata-rata sekitar 1,75% per tahun. Sejalan dengan peningkatan konsumsi tersebut, kebutuhan cabai nasional diperkirakan mencapai sekitar 76.000–78.000 ton per bulan, sehingga diperlukan upaya peningkatan produktivitas dan kualitas benih untuk memenuhi kebutuhan pasar.

Tingkat produksi cabai yang relatif rendah berbanding terbalik dengan permintaan pasar yang tinggi (Azani *et al.*, 2024). Salah satu kendala yang mengakibatkan rendahnya produksi tanaman cabai Kopay adalah kekeringan. Cabai Kopay merupakan tanaman yang sangat rentan dan peka terhadap tekanan air. Kekurangan air dapat menyebabkan berbagai respons fisiologis yang berdampak pada kerugian hasil

panen (Hamidah *et al.*, 2024). Dampak dari kekeringan tersebut terjadi pada setiap fase pertumbuhan, khususnya pada fase perkecambahan, hal ini dikarenakan pada fase tersebut tanaman membutuhkan kapasitas air yang banyak dan berdampak juga terhadap produktivitas tanaman (Yustiningsih *et al.*, 2021).

Salah satu upaya untuk meningkatkan kemampuan tanaman dalam menghadapi cekaman kekeringan adalah dengan perlakuan priming benih (*seed priming*). Priming benih merupakan teknik pra-perkecambahan benih yang dapat meningkatkan kecepatan dan keseragaman perkecambahan dan pertumbuhan awal tanaman. Teknik priming memicu benih berkecambah lebih cepat dan meningkatkan keseragaman pertumbuhan jika dibandingkan dengan benih yang tidak mendapatkan perlakuan. Berdasarkan penelitian Ibrahim (2016), priming benih telah terbukti berhasil meningkatkan proses perkecambahan dan meringankan atau mengatasi hambatan perkecambahan.

Priming benih adalah teknik fisiologis yang melibatkan hidrasi dan pengeringan benih untuk memicu proses metabolisme sebelum perkecambahan. Prinsip priming didasarkan pada pengaturan hidrasi benih yang memungkinkan aktivasi sumber daya internal dan eksternal untuk meningkatkan proses perkecambahan dan pertumbuhan kecambah. Tujuannya adalah untuk mempercepat perkecambahan, meningkatkan perkembangan bibit, dan memaksimalkan hasil, terutama dalam kondisi lingkungan yang penuh tekanan (Ejaz *et al.*, 2019). Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa priming benih dapat mengaktifkan sistem pertahanan sel sejak dini, misalnya dengan meningkatkan aktivitas enzim antioksidan seperti katalase (CAT) yang penting dalam menetralkan radikal bebas selama tahap awal perkecambahan (Paparella *et al.*, 2015).

Beberapa faktor diketahui dapat memengaruhi keberhasilan priming, di antaranya konsentrasi ekstrak yang digunakan dan lama perendaman. Hasil penelitian Itroutwar *et al.* (2019), mengungkapkan bahwa perlakuan priming dengan berbagai konsentrasi nanopartikel ZnO ekstrak *Turbinaria ornata* (5-200 mg/L) menunjukkan peningkatan signifikan dalam perkecambahan biji dan perkembangan bibit cabai. Perlakuan lama perendaman berbeda (6, 9, dan 12 jam) pada benih cabai menunjukkan peningkatan mutu benih (Syaiful *et al.*, 2021). Pada penelitian Ali *et al.* (2019), lama perendaman

12 jam menghasilkan waktu perkecambahan yang singkat dan meningkatkan persentase perkecambahan benih terung (*Solanum melongena*).

Salah satu *trend* pendekatan inovatif yang saat ini berkembang dalam bidang teknologi benih untuk meningkatkan perkecambahan adalah melalui perlakuan nanopriming, yaitu perlakuan perendaman benih menggunakan nanopartikel yang bertujuan untuk meningkatkan kapasitas adaptasi benih terhadap kondisi lingkungan yang kurang mendukung. Nanopriming dapat memengaruhi berbagai proses fisiologis dan biokimia dalam benih, seperti peningkatan aktivitas enzim antioksidan, perubahan kadar hormon, dan peningkatan ketersediaan energi untuk perkecambahan, meningkatkan metabolisme benih, serta memengaruhi ekspresi gen toleransi stres.

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa, perlakuan nanopriming menggunakan nanopartikel perak (AgNPs) berbasis tumbuhan menunjukkan peningkatan aktivitas α -amilase dan glukosa pada benih padi tua, serta meningkatkan viabilitas dan toleransi terhadap kekeringan. Studi serupa oleh Singh *et al.* (2021), juga memperlihatkan bahwa perlakuan nanopriming dengan ZnO pada benih gandum memiliki laju perkecambahan lebih tinggi dan respons stres yang lebih kuat dibandingkan kontrol.

Nanopriming diklaim mampu meningkatkan imbibisi air, mempercepat perkecambahan, serta meningkatkan aktivitas enzim antioksidan sehingga tanaman lebih tahan terhadap kondisi kekeringan. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa nanopriming dapat meningkatkan daya kecambah dan vigor benih, serta memengaruhi respons fisiologis dan biokimia tanaman (Abideen *et al.*, 2022). Nanopriming tidak hanya mempercepat metabolisme benih, tetapi juga menginduksi ekspresi gen-gen yang berperan dalam toleransi stres, termasuk gen aquaporin dan gen antioksidan (Mahakham *et al.*, 2017).

Padina minor, sejenis alga coklat, diketahui mengandung senyawa bioaktif yang berpotensi sebagai biostimulan, terutama dalam bentuk nanopartikel yang dapat meningkatkan metabolisme perkecambahan. Berdasarkan hasil skrining yang dilakukan oleh Noli *et al.* (2021), *P. minor* merupakan salah satu jenis rumput laut coklat dari kelompok *Phaeophyta* yang memiliki kandungan unsur hara makro dan mikro relatif tinggi dibandingkan jenis rumput laut lainnya. Kandungan tersebut

meliputi unsur Na, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, dan Cu, serta berbagai senyawa bioaktif seperti flavonoid, fenolik, terpenoid, saponin, steroid, dan alkaloid yang berpotensi mendukung serta meningkatkan pertumbuhan tanaman (Manteu *et al.*, 2018).

Nanopriming menggunakan ekstrak nanopartikel dari rumput laut *P. minor* dapat memberikan efek positif terhadap aktivitas enzim dan ekspresi gen yang berperan dalam perkecambahan benih dan dihipotesiskan mampu meningkatkan aktivitas enzim antioksidan serta memodulasi ekspresi gen yang berperan dalam mekanisme toleransi stres pada benih cabai. Aktivitas enzim seperti katalase (CAT) sangat penting dalam mengurangi stres oksidatif selama perkecambahan. Selain itu, ekspresi gen yang terkait dengan mekanisme toleransi stres, seperti gen aquaporin, termasuk PIP (*Plasma membrane Intrinsic Protein*) dapat memberikan gambaran molekuler mengenai efektivitas perlakuan nanopriming (Mazhar *et al.*, 2023).

Gen aquaporin termasuk salah satu gen yang berperan penting dalam mekanisme respons tanaman terhadap cekaman kekeringan. (Chen *et al.*, 2015). Aquaporin merupakan protein membran yang berperan dalam regulasi transportasi air atau mengatur pergerakan air di dalam sel dan jaringan tanaman yang melintasi membran sel tanaman. Protein ini memungkinkan pergerakan air yang lebih efisien, yang sangat penting dalam respons tanaman terhadap cekaman kekeringan. Aquaporin dikodekan oleh gen aquaporin, yang ekspresinya dapat meningkat atau menurun tergantung pada kondisi lingkungan untuk mengatur keseimbangan air.

Dengan demikian, penelitian ini diperlukan untuk mengkaji dan mengeksplorasi efektivitas nanopriming menggunakan ekstrak nanopartikel *Padina minor* dalam meningkatkan aktivitas enzim dan ekspresi gen pada perkecambahan benih cabai, serta memahami mekanisme fisiologis yang mendasari respons tersebut. Penelitian ini menawarkan inovasi terbaru melalui pendekatan nanopriming berbasis ekstrak nanopartikel *Padina minor* pada benih cabai (*C. annuum L.*) untuk meningkatkan aktivitas enzim dan ekspresi gen pada perkecambahan benih cabai, penggunaan nanopartikel alami dari makroalga (rumput laut) sebagai agen priming masih sangat terbatas, pendekatan ini juga belum banyak diteliti pada varietas lokal cabai Indonesia yang memiliki potensi adaptasi tinggi namun rentan terhadap kekeringan.

Selain itu, masih terbatasnya kajian molekuler yang mengaitkan perlakuan nanopriming dengan ekspresi gen aquaporin (PIP) sebagai indikator efisiensi penyerapan air dan toleransi terhadap cekaman air selama proses perkecambahan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan alternatif studi awal terutama terkait dengan visualisasi ekspresi gen aquaporin (CaPIP2) dalam keterkaitannya dengan teknologi metode priming benih berbasis nanoteknologi yang lebih adaptif terhadap cekaman kekeringan.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah tersebut, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana efektivitas nanopriming ekstrak nanopartikel *Padina minor* dalam meningkatkan viabilitas dan vigor perkecambahan benih cabai?
2. Bagaimana pengaruh nanopriming ekstrak nanopartikel *P. minor* terhadap aktivitas enzim antioksidan dan non-antioksidan pada perkecambahan benih cabai (*C. annuum*)?
3. Bagaimana visualisasi ekspresi gen aquaporin (CaPIP2) pada benih cabai (*C. annuum*) setelah diberi perlakuan nanopriming menggunakan ekstrak nanopartikel *P. minor*?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini yaitu:

1. Menentukan efektivitas nanopriming *P. minor* dalam meningkatkan viabilitas dan vigor perkecambahan benih cabai (*C. annuum*).
2. Menganalisis efektivitas/pengaruh nanopriming *P. minor* terhadap aktivitas enzim pada perkecambahan benih cabai (*C. annuum*).
3. Melihat visualisasi ekspresi gen aquaporin (CaPIP2) sebagai gen toleransi stres pada benih cabai yang diberi perlakuan nanopriming *P. minor*.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu memberikan informasi terkait pengaruh nanopriming terhadap perkecambahan tanaman cabai varietas Kopay dan menjadi acuan untuk meningkatkan perkecambahan dan toleransi tanaman cabai terhadap aktivitas enzim antioksidan dan non-antioksidan serta ekspresi gen perkecambahan aquaporin dan kaitannya terhadap cekaman kekeringan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan teknologi priming yang ramah lingkungan, efisien, dan mudah diterapkan untuk meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stres abiotik, khususnya dalam menghadapi tantangan perubahan iklim dan kekeringan untuk mendukung pertanian berkelanjutan.

